



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Mecánica de Medios Continuos y  
Teoría de Estructuras

PROYECTO FIN DE CARRERA

# DISEÑO DE UN CUADRILÁTERO DE COMBATE DESMONTABLE

Autor: Juan Manuel Ruiz-Gálvez Martín

Tutor: Dr. D. José Luis Pérez Castellanos

Leganés, abril de 2015

Título: Diseño de un Cuadrilátero de Combate Desmontable

Autor: Juan Manuel Ruiz-Gálvez Martín

Director: Dr. D. José Luis Pérez Castellanos

## EL TRIBUNAL

Presidente: Jorge Alonso Zahr Viñuela

Vocal: Daniel García-Pozuelo Ramos

Secretario: Inés Iváñez del Pozo

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 23 de Abril de 2015 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

### Agradecimientos

*A Jose Luis Rodríguez Catoni, por sus ganas de superación y energías para aprender y desarrollar siempre nuevas cosas, por tener constantemente un ojo abierto en busca de nuevos proyectos y sin cuya idea este trabajo no habría sido posible. A mi director, Jose Luis Pérez Castellanos, y a todo el departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras de la universidad, por la guía y ayuda brindada para poder superar cada uno de los muchos problemas que han ido surgiendo en el diseño del proyecto. Y en especial a mi novia, Paloma, por aguantarme durante todo este tiempo con una gran sonrisa y sin cuyo apoyo, cariño, ánimo y buenos consejos, el resultado de este trabajo no habría llegado a ser el orgullo del que ahora me siento.*

## **RESUMEN**

El presente proyecto, busca satisfacer una necesidad en crecimiento dentro del mundo de las artes marciales y el deporte de contacto, que es la de disponer de unas instalaciones donde poder entrenar con todos los complementos necesarios.

Hasta el momento, pocos eran los deportes de contacto que se conocían mundialmente, véase el boxeo y la lucha libre. Sin embargo, el auge de estas nuevas variantes de combate, exige muchas veces a los que las enseñan y practican a emplear instalaciones más específicas donde hacerlo, y eso implica ofrecer un cuadrilátero de boxeo. Es cierto que según que modalidad, si se hiciese un ring específico para ello, presentaría pequeñas diferencias constructivas, pero debido a lo que encarecería realizar algo tan particular, todas aceptan el ring de boxeo como escenario donde realizar peleas.

Ahora bien, estas grandes estructuras son uniones soldadas y atornilladas al suelo, lo que hace que pocas federaciones y clubs puedan tenerlas, debido al precio que cuesta comprarlas y mantenerlas, así como al espacio muerto que originan. Además, estos cuadriláteros son proporcionados por muy pocas empresas que se aseguran de dejarlos montados, fijados y ocultos, para impedir que se pueda copiar su diseño, y así evitar que futuros clientes puedan ser satisfechos por otros medios.

Por tanto, existe una creciente demanda por cuadriláteros de combate, que carecen del dinero necesario para comprar uno, los conocimientos técnicos para hacer un propio decente o simplemente el espacio requerido para dejarlo siempre montado.

El proyecto busca resolver dicho problema, al ofrecer un cuadrilátero que puede ser desmontado y fabricado de manera sencilla por cualquier interesado, ofreciendo toda la documentación necesaria para ello.



## **SUMMARY**

This project targets a growing need within the world of martial arts and contact sports as it is the availability of training facilities with all of the required accessories.

Up to now few contact sports other than boxing and wrestling were universally renowned. However, the peak of new ways of combat often require from specific facilities for both trainers and practitioners, as a boxing ring. Certainly, a customized ring for each of the combat variations would require slightly different versions, but the costs involved on it make of the boxing ring a widely accepted option as fights' scenario.

The point is that the rings are big structures welded and screwed down to the floor, what drives to only few sports federations and clubs being able to afford it because of its material purchasing price and maintenance cost, as well as because the room needed for it. Aside of it, rings are supplied by a limited number of companies who deliver them assembled and fixed, paying high attention to keep its design hidden to impede third parties to copy it and become an alternative for future customers.

Consequently, there is a growing potential demand for boxing rings limited by the lack of financial means to buy one, or by the lack of technical knowledge to build a suitable one, or merely by the lack of space enough as to allow a permanent installation.

This project aims to solve the above mentioned problems by offering a detachable ring that can be manufactured in a simple manner by any interested party, delivering all of the required documentation for that purpose.

# Memoria

<b>INDICE:</b>	<b>Página</b>
<b>1. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS</b>	
1.1. Motivación.....	1
1.2. Descripción y objetivos del proyecto.....	3
1.3. Estilos de lucha.....	5
1.4. Normativa.....	17
1.5. Procedimiento.....	18
<b>2. METODOLOGÍA</b>	
2.1. Herramienta de análisis.....	19
2.2. Prediseño del cuadrilátero.....	22
2.3. Modelos.....	24
2.4. Propiedades de los materiales.....	27
<b>3. ESTUDIO ESTÁTICO</b>	
3.1. Simplificación de esfuerzos.....	31
3.2. Casos de estudio.....	38
3.3. Modelo 1.....	42
3.3.1. Modelo 1.1.....	42
3.3.1.1. Análisis del tablero.....	44
3.3.1.2. Análisis de la estructura.....	49
3.3.2. Modelo 1.2.....	60
3.3.2.1. Análisis del tablero.....	61
3.3.2.2. Análisis de la estructura.....	61
3.3.3. Modelo 1.3.....	71
3.3.3.1. Análisis del tablero.....	73
3.3.3.2. Análisis de la estructura.....	73
3.4. Modelo 2.....	82
3.4.1. Análisis del tablero.....	85
3.4.2. Análisis de la estructura.....	92
3.5. Modelo3.....	102
3.5.1. Análisis del tablero.....	104
3.5.2. Análisis de la estructura.....	110

3.6. Resultado.....	111
4. ESTUDIO DINÁMICO	
4.1. Datos de partida.....	113
4.2. Frecuencias naturales.....	121
4.3. Estudio de impactos.....	129
4.3.1. Tablero.....	133
4.3.2. Estructura.....	135
4.3.3. Cuerdas.....	141
5. DISEÑO DE UNIONES	
5.1. Soldaduras.....	150
5.2. Tornillos.....	154
6. ESTUDIO ECONÓMICO	
6.1. Costes.....	158
6.1.1. Estructura.....	158
6.1.2. Tableros de madera.....	160
6.1.3. Paneles de caucho.....	161
6.1.4. Cuerdas.....	162
6.1.5. Lona.....	162
6.1.6. Tornillos.....	163
6.1.7. Soldaduras.....	164
6.1.8. Mano de obra.....	165
6.1.9. Accesorios.....	166
6.1.10. Corte y taladrado.....	166
6.1.11. Resultados.....	167
6.2. Estudio del mercado.....	168
6.2.1. Compra de cuadrilátero.....	168
6.2.2. Alquiler de cuadrilátero.....	169
7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	
8. ANEXOS	
8.1. Presupuesto.....	173
8.2. Bibliografía.....	174

<b>INDICE DE FIGURAS:</b>	<b>Página</b>
FIG.1. Imagen de un cuadrilátero de boxeo.....	1
FIG.2. Cuadrilátero montado para evento ocasional.....	2
FIG.3. Logo del gimnasio Feijoo.....	3
FIG.4. Impacto en un combate de Sanda.....	4
FIG.5. Ánfora paratenaica del 336 a.C.....	5
FIG.6. Antecedentes del guante de boxeo.....	6
FIG.7. James Figg.....	6
FIG.8. Cassius Clay combatiendo.....	7
FIG.9. Combate de Full Contact.....	8
FIG.10. Tadashi Sawamaru.....	9
FIG.11. Benny Urquidez.....	9
FIG.12. Río Yangsima.....	10
FIG.13. Río Konge.....	10
FIG.14. Inicios del Muay Thai.....	11
FIG.15. Combate de Muay Thai.....	12
FIG.16. Combate de Sanda.....	14
FIG.17. Representación de dos marineros peleando en cubierta.....	15
FIG.18. Joseph Charlemont.....	16
FIG.19. Combate de Savate.....	16
FIG.20. Logo de SolidWorks.....	20
FIG.21. Ejemplo de montaje del proyecto.....	23
FIG.22. Ejemplo de varios componentes usados en el proyecto.....	23
FIG.23. Imagen del submodelo A.....	26
FIG.24. Loquetas de caucho.....	31
FIG.25. Ejemplo de proveedor para artículos de cuadrilátero.....	32
FIG.26. Tensor para cuerdas de cuadrilátero.....	33
FIG.27. Detalle de un conjunto tensor-cuerdas.....	34
FIG.28. Esquema de la unión de las cuerdas con el tensor.....	34
FIG.29. Descomposición de fuerzas.....	35
FIG.30. Representación del Caso 1.....	38

---

FIG.31. Representación del Caso 2.....	39
FIG.32. Representación del Caso 3.....	39
FIG.33. Representación del Caso 4.....	40
FIG.34. Representación del Caso 5.....	40
FIG.35. Representación del Caso 6.....	41
FIG.36. “Clinch” de boxeo.....	41
FIG.37. Estructura del cuadrilátero modelo 1.1.....	42
FIG.38. Cuadrilátero completo modelo 1.1.....	43
FIG.39. Frontal modelo 1.1.....	43
FIG.40. Sección frontal modelo 1.1.....	43
FIG.41. Lateral izquierdo modelo 1.1.....	43
FIG.42. Sección izquierda modelo 1.1.....	44
FIG.43. Resultado del análisis del tablero aglomerado.....	44
FIG.44. Tensiones en tablero para un material MDF.....	45
FIG.45. Deformaciones en el tablero para un material MDF.....	45
FIG.46. Estructura base modificada.....	46
FIG.47. Tensiones en el tablero para la base modificada.....	46
FIG.48. Deformaciones en el tablero para la base modificada.....	47
FIG.49. Tensiones en el tablero Caso 5 con espesor de 24 mm.....	48
FIG.50. Deformaciones en el tablero Caso 5 con espesor de 24 mm.....	48
FIG.51. Tensiones en el tablero Caso 6 con espesor de 24 mm.....	48
FIG.52. Deformaciones en el tablero Caso 6 con espesor de 24 mm.....	49
FIG.53. Estructura del cuadrilátero modelo 1.1 modificada.....	50
FIG.54. Caso genérico de tensiones en la estructura modelo 1.1.....	51
FIG.55. Caso genérico de concentrador de tensiones modelo 1.1.....	51
FIG.56. Deformada genérica modelo 1.1.....	52
FIG.57. Tensión de Von Mises Caso 1 modelo 1.1.....	53
FIG.58. Tensión de Von Mises Caso 2 modelo 1.1.....	54
FIG.59. Tensión de Von Mises Caso 3 modelo 1.1.....	54
FIG.60. Tensión de Von Mises Caso 4 modelo 1.1.....	55
FIG.61. Deformación del cuadrilátero Caso 1 modelo 1.1.....	55
FIG.62. Deformación del cuadrilátero Caso 2 modelo 1.1.....	56

---

FIG.63. Deformación del cuadrilátero Caso 3 modelo 1.1.....	56
FIG.64. Deformación del cuadrilátero Caso 4 modelo 1.1.....	57
FIG.65. Localización de la máxima tensión Caso 1 modelo 1.1.....	57
FIG.66. Localización de la máxima tensión Caso 2 modelo 1.1.....	58
FIG.67. Localización de la máxima tensión Caso 3 modelo 1.1.....	58
FIG.68. Localización de la máxima tensión Caso 4 modelo 1.1.....	59
FIG.69. Estructura del cuadrilátero del modelo 1.2.....	60
FIG.70. Sección interior del modelo 1.2.....	61
FIG.71. Lateral exterior del modelo 1.2.....	61
FIG.72. Caso genérico de tensiones en la estructura modelo 1.2.....	62
FIG.73. Caso genérico de concentrador de tensiones modelo 1.2.....	62
FIG.74. Ejemplo de desplazamientos para el Caso 1 modelo 1.2.....	63
FIG.75. Tensión de Von Mises Caso 1 modelo 1.2.....	64
FIG.76. Tensión de Von Mises Caso 2 modelo 1.2.....	65
FIG.77. Tensión de Von Mises Caso 3 modelo 1.2.....	65
FIG.78. Tensión de Von Mises Caso 4 modelo 1.2.....	66
FIG.79. Deformación del cuadrilátero Caso 1 modelo 1.2.....	66
FIG.80. Deformación del cuadrilátero Caso 2 modelo 1.2.....	67
FIG.81. Deformación del cuadrilátero Caso 3 modelo 1.2.....	67
FIG.82. Deformación del cuadrilátero Caso 4 modelo 1.2.....	68
FIG.83. Localización de la máxima tensión Caso 1 modelo 1.2.....	68
FIG.84. Localización de la máxima tensión Caso 2 modelo 1.2.....	69
FIG.85. Localización de la máxima tensión Caso 3 modelo 1.2.....	69
FIG.86. Localización de la máxima tensión Caso 4 modelo 1.2.....	70
FIG.87. Estructura del cuadrilátero del modelo 1.3.....	72
FIG.88. Lateral exterior del modelo 1.3.....	72
FIG.89. Sección intermedia del modelo 1.3.....	72
FIG.90. Sección central del modelo 1.3.....	72
FIG.91. Caso genérico de tensiones en la estructura modelo 1.3.....	73
FIG.92. Caso genérico de concentrador de tensiones modelo 1.3.....	74
FIG.93. Ejemplo de desplazamientos para el Caso 1 modelo 1.3.....	74
FIG.94. Tensión de Von Mises Caso 1 modelo 1.3.....	75

---

---

FIG.95. Tensión de Von Mises Caso 2 modelo 1.3.....	76
FIG.96. Tensión de Von Mises Caso 3 modelo 1.3.....	76
FIG.97. Tensión de Von Mises Caso 4 modelo 1.3.....	77
FIG.98. Deformación del cuadrilátero Caso 1 modelo 1.3.....	77
FIG.99. Deformación del cuadrilátero Caso 2 modelo 1.3.....	78
FIG.100. Deformación del cuadrilátero Caso 3 modelo 1.3.....	78
FIG.101. Deformación del cuadrilátero Caso 4 modelo 1.3.....	79
FIG.102. Localización de la máxima tensión Caso 1 modelo 1.3.....	79
FIG.103. Localización de la máxima tensión Caso 2 modelo 1.3.....	80
FIG.104. Localización de la máxima tensión Caso 3 modelo 1.3.....	80
FIG.105. Localización de la máxima tensión Caso 4 modelo 1.3.....	81
FIG.106. Cambio de uniones entre perfiles.....	83
FIG.107. Estructura del cuadrilátero modelo 2.....	83
FIG.108. Cuadrilátero modelo 2.....	84
FIG.109. Lateral exterior modelo 2 sentido Z.....	84
FIG.110. Lateral interior modelo 2 sentido Z.....	84
FIG.111. Lateral exterior modelo 2 sentido X.....	84
FIG.112. Lateral interior modelo 2 sentido X.....	85
FIG.113. Estructura remodelada del cuadrilátero modelo 2.....	85
FIG.114. Modelo de estudio.....	86
FIG.115. Tensiones en el tablero para un espesor de 10 mm.....	86
FIG.116. Deformaciones en el tablero para un espesor de 10 mm.....	87
FIG.117. Tensiones en el tablero para un espesor de 24 mm.....	87
FIG.118. Deformaciones en el tablero para un espesor de 24 mm.....	88
FIG.119. Estructura base modificada.....	88
FIG.120. Tensiones en el tablero para estructura modificada.....	89
FIG.121. Deformaciones en el tablero para estructura modificada.....	89
FIG.122. Estructura base remodelada.....	90
FIG.123. Tensiones en el tablero para estructura remodelada Caso 5.....	90
FIG.124. Tensiones en el tablero para estructura remodelada Caso 6.....	91
FIG.125. Deformaciones en el tablero para estructura remodelada Caso 5.....	91
FIG.126. Deformaciones en el tablero para estructura remodelada Caso 6.....	91

---



---

FIG.127. Estructura final del cuadrilátero modelo 2.....	92
FIG.128. Caso genérico de tensiones en la estructura modelo 2.....	93
FIG.129. Caso genérico de concentrador de tensiones modelo 2.....	94
FIG.130. Desplazamientos para el Caso 1 modelo 2.....	94
FIG.131. Tensión de Von Mises Caso 1 modelo 2.....	96
FIG.132. Tensión de Von Mises Caso 2 modelo 2.....	96
FIG.133. Tensión de Von Mises Caso 3 modelo 2.....	97
FIG.134. Tensión de Von Mises Caso 4 modelo 2.....	97
FIG.135. Deformación del cuadrilátero Caso 1 modelo 2.....	98
FIG.136. Deformación del cuadrilátero Caso 2 modelo 2.....	98
FIG.137. Deformación del cuadrilátero Caso 3 modelo 2.....	99
FIG.138. Deformación del cuadrilátero Caso 4 modelo 2.....	99
FIG.139. Localización de la máxima tensión Caso 1 modelo 2.....	100
FIG.140. Localización de la máxima tensión Caso 2 modelo 2.....	100
FIG.141. Localización de la máxima tensión Caso 3 modelo 2.....	101
FIG.142. Localización de la máxima tensión Caso 4 modelo 2.....	101
FIG.143. Estructura del cuadrilátero modelo 3.....	103
FIG.144. Cuadrilátero modelo 3.....	104
FIG.145. Lateral modelo 3.....	104
FIG.146. Sección diagonal modelo 3.....	104
FIG.147. Subestructura de apoyo.....	105
FIG.148. Modelo de estudio.....	105
FIG.149. Tensiones en el tablero modelo 3.....	106
FIG.150. Deformaciones en el tablero modelo 3.....	106
FIG.151. Subestructura de apoyo modificada.....	107
FIG.152. Tensiones en el tablero modelo 3 modificado.....	107
FIG.153. Deformaciones en el tablero modelo 3 modificado.....	108
FIG.154. Subestructura de apoyo remodelada.....	108
FIG.155. Tensiones en el tablero modelo 3 remodelado Caso 5.....	109
FIG.156. Tensiones en el tablero modelo 3 remodelado Caso 6.....	109
FIG.157. Deformaciones en el tablero modelo 3 remodelado Caso 5.....	109
FIG.158. Deformaciones en el tablero modelo 3 remodelado Caso 6.....	110

---

---

FIG.159. Estructura final del cuadrilátero modelo 3.....	110
FIG.160. Distintas proyecciones llevadas a cabo durante un combate.....	113
FIG.161. Proyección Seogi Nague obtenida del estudio.....	114
FIG.162. Gráfica del movimiento obtenida del estudio.....	115
FIG.163. Proyección Sode Suri Komi Goshi obtenida del estudio.....	116
FIG.164. Gráfica del movimiento obtenida del estudio.....	116
FIG.165. Proyección ante carga horizontal.....	118
FIG.166. Técnica Kokyu Nague.....	119
FIG.167. Gráfica del desplazamiento vertical en función del horizontal.....	120
FIG.168. Gráfica del desplazamiento vertical en función del tiempo.....	120
FIG.169. Gráfica del velocidad vertical en función del tiempo.....	120
FIG.170. Deformaciones modales del tablero.....	124
FIG.171. Deformaciones modales en la estructura.....	125
FIG.172. Gráfica tensión-deformación para el impacto vertical.....	126
FIG.173. Grafica tensión-deformación para el impacto horizontal combinado.....	126
FIG.174. Grafica tensión-deformación para el impacto vertical combinado.....	127
FIG.175. Código de programación para obtener la gráfica de la Transformada de Fourier.....	127
FIG.176. Gráfica de la Transformada de Fourier para el impacto vertical.....	128
FIG.177. Gráfica de la Transformada de Fourier para el impacto combinado vertical.....	129
FIG.178. Gráfica de la Transformada de Fourier para el impacto combinado horizontal.....	129
FIG.179. Curva tiempo-fuerza para estudiar el impacto vertical.....	130
FIG.180. Curva tiempo-fuerza para estudiar la fuerza horizontal en un impacto combinado.....	131
FIG.181. Curva tiempo-fuerza para estudiar la fuerza vertical en un impacto combinado.....	132
FIG.182. Modelo del tablero para estudio dinámico.....	133
FIG.183. Tensiones en el tablero para el caso de impacto.....	134

---

---

FIG.184. Deformaciones en el tablero para el caso de impacto.....	134
FIG.185. Modelo del cuadrilátero para análisis dinámico.....	135
FIG.186. Organización de las zonas según los distintos casos de estudio.....	136
FIG.187. Distribución de la tensión para un nivel alto de impacto vertical.....	137
FIG.188. Distribución de la tensión para un nivel medio de impacto vertical.....	137
FIG.189. Distribución de la tensión para un nivel bajo de impacto vertical.....	138
FIG.190. Ejemplo de deformada ante impacto dirigido al centro del cuadrilátero.....	138
FIG.191. Distribución de la tensión para un caso cualquiera de impacto combinado.....	140
FIG.192. Deformación para un caso cualquiera de impacto combinado.....	140
FIG.193. Desplazamiento de la cuerda tras impacto.....	142
FIG.194. Equilibrio de fuerzas.....	143
FIG.195. Deformación de una cuerda ante impacto 1.....	144
FIG.196. Deformación de una cuerda ante impacto 2.....	144
FIG.197. Descomposición de las fuerzas en los ejes cartesianos.....	145
FIG.198. Descomposición de las fuerzas en los ejes del tensor.....	146
FIG.199. Curva Tiempo-Carga para la fuerza original aplicada en la dirección X.....	146
FIG.200. Curva Tiempo-Carga para la fuerza original aplicada en la dirección Z.....	147
FIG.201. Modelo de estudio.....	147
FIG.202. Distribución de las tensiones en el modelo.....	148
FIG.203. Tensiones en el poste.....	149
FIG.204. Orientación de las tensiones según norma.....	151
FIG.205. Orientación de las tensiones según SolidWorks.....	151
FIG.206. Pseudotornillo.....	155
FIG.207. Unión atornillada.....	155
FIG.208. Pseudotornillos analizados.....	156
FIG.209. Cuadrilátero almacenado.....	170

---

<b>INDICE DE TABLAS:</b>	<b>Página</b>
Tabla 1. Resultados para un tablero cuadrado MDF de 10 mm.....	45
Tabla 2. Resultados para un tablero cuadrado MDF con apoyado simple.....	46
Tabla 3. Resultados para un tablero cuadrado MDF de 24 mm.....	47
Tabla 4. Propiedades físicas del modelo 1.1.....	50
Tabla 5. Resultados del modelo 1.1.....	50
Tabla 6. Resultados del modelo 1.1 sin el efecto de las cuerdas.....	53
Tabla 7. Propiedades físicas del modelo 1.2.....	61
Tabla 8. Resultados del modelo 1.2.....	62
Tabla 9. Resultados del modelo 1.2 sin el efecto de las cuerdas.....	64
Tabla 10. Propiedades físicas del modelo 1.3.....	73
Tabla 11. Resultados del modelo 1.3.....	73
Tabla 12. Resultados del modelo 1.3 sin el efecto de las cuerdas.....	75
Tabla 13. Resultados para un tablero rectangular MDF de 10 mm.....	86
Tabla 14. Resultados para un tablero rectangular MDF de 24 mm.....	87
Tabla 15. Resultados para un tablero rectangular MDF con apoyado simple.....	89
Tabla 16. Resultados para un tablero rectangular MDF con doble apoyado.....	90
Tabla 17. Propiedades físicas del modelo 2.....	93
Tabla 18. Resultados del modelo 2.....	93
Tabla 19. Resultados del modelo 2 sin el efecto de las cuerdas.....	95
Tabla 20. Resultados para un tablero prismático MDF de 24 mm.....	105
Tabla 21. Resultados para un tablero prismático MDF con apoyo simple.....	107
Tabla 22. Resultados para un tablero prismático MDF con doble apoyo.....	108
Tabla 23. Propiedades físicas del modelo 3.....	111
Tabla 24. Valores de los desplazamientos según tiempo.....	115
Tabla 25. Frecuencias naturales.....	123
Tabla 26. Resultado del tablero ante impacto vertical.....	133
Tabla 27. Resultados de la estructura ante impactos contra el suelo.....	136
Tabla 28. Resultados ante impactos en las cuerdas.....	148
Tabla 29. Recuento de perfiles tubulares cuadrados.....	159
Tabla 30. Recuento de perfiles tubulares rectangulares.....	159

Tabla 31. Recuento de perfiles total.....	160
Tabla 32. Presupuesto para el acero.....	160
Tabla 33. Presupuesto para los tableros.....	161
Tabla 34. Presupuesto para los paneles de caucho.....	161
Tabla 35. Presupuesto para las cuerdas.....	162
Tabla 36. Recuento de taladros.....	162
Tabla 37. Presupuesto de tornillos.....	163
Tabla 38. Presupuesto de la lona.....	164
Tabla 39. Presupuesto de las soldaduras.....	164
Tabla 40. Presupuesto de los accesorios.....	165
Tabla 41. Peso de los componentes del cuadrilátero.....	165
Tabla 42. Presupuesto de la mano de obra.....	166
Tabla 43. Presupuesto del corte y taladrado.....	167
Tabla 44. Presupuesto total.....	167

---

# 1. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS:

## 1.1. Motivación:

El entusiasmo por las artes marciales ha crecido exponencialmente en esta última década. Son muchos los gimnasios y organizaciones los que ahora intentan enseñarla, ofreciendo gran variedad de estas disciplinas según el camino que cada escuela quiera seguir. Las múltiples vertientes que existen son muy distintas unas de otras, pero muchas de ellas presentan algo en común, están enfocadas en la defensa personal y, por tanto, al combate.

Hasta el momento, pocos eran los deportes de contacto que se conocían mundialmente, véase el boxeo y la lucha libre. Sin embargo, el auge de estas nuevas variantes de combate, exige muchas veces a los que las enseñan a mejorar las instalaciones donde lo hacen, ya que si un alumno decide probar suerte en ese mundo, no basta con un tatami donde entrenar.

Aunque se ha hablado de una gran variedad de artes marciales, a la hora de realizar un combate deportivo, todas usan instalaciones sumamente parecidas: un cuadrilátero de boxeo. Es cierto que según qué modalidad, si se hiciese un ring específico para ello, presentaría pequeñas diferencias constructivas, pero debido a lo que encarecería realizar algo tan particular, todas aceptan el ring de boxeo como escenario donde realizar la pelea.



Figura 1. Imagen de un cuadrilátero de boxeo [23]

Ahora bien, estas grandes estructuras son uniones soldadas y atornilladas al suelo, lo que hace que pocas federaciones y clubs puedan tenerlas, debido al precio que cuesta comprarlas y mantenerlas, así como al espacio muerto que originan. Por ello, a no ser que se tenga un renombre que garantice un continuo uso por parte de sus alumnos para amortizarlo, tener un cuadrilátero es algo inviable (tanto es así que muchas veladas de nivel amateur se hacen directamente en estas federaciones, ya que sale más rentable que intentar llevarlo a un lugar público).

Estos cuadriláteros son proporcionados por muy pocas empresas que se aseguran de dejárselo montado y fijado al comprador, ocultando su estructura, así como de alquilarlos si se necesitan para cosas puntuales junto con el resto de complementos que requiere una velada profesional. Sin embargo, se aseguran de mostrar lo mínimo posible sobre su construcción, diseño y características técnicas, de manera que aunque es posible sacar información intentando ver a través de las lonas que lo cubren, los modelos caseros que se realizan nunca presentan las mismas prestaciones y las ideas para hacerlos se sacan de foros en Internet, donde la gente que ya lo ha intentado muestra su idea y comenta el resultado que les está dando.



Figura 2. Cuadrilátero montado para evento ocasional

Por tanto, existe una creciente demanda de cuadriláteros de combate. Parte de dicha demanda carece del dinero necesario para comprar uno, de los conocimientos técnicos para construir uno propio que aguante o, simplemente, del espacio requerido para dejarlo siempre montado.

A principios del 2013, Jose Luis Rodríguez Catoni, dueño del gimnasio Feijoo y maestro de artes marciales, presentó al autor una idea: diseñar un cuadrilátero que pudiera desmontarse y que resultase tanto económicamente viable como de sencilla fabricación para que cualquier particular pudiese hacerse con uno. Aunque la idea derivó en otro camino que fue realizado tiempo después, esta quedó grabada en la mente del autor que decidió hacerla realidad.

El presente proyecto, aunque diseñado por el autor, es fruto de esa idea y utiliza como bases del proyecto los requisitos que Jose Luis pidió, ya que como entendido de ese mundo, dio las claves para obtener un nuevo producto de éxito garantizado.



Figura 3. Logo del gimnasio Feijoo

## 1.2. Descripción y Objetivos del Proyecto

El objetivo de este proyecto es diseñar un cuadrilátero de boxeo capacitado para soportar cualquier combate de artes marciales. Además ha de ser desmontable, competitivo económicamente frente a los que se ofrecen en el mercado y de fácil fabricación.

A continuación se explica con más detalle cada una de los cuatro requisitos fijados:

- a) Soportar cualquier combate: Los cuadriláteros de boxeo tradicional están pensados para soportar a un árbitro y dos competidores, los cuales pelean solo lanzándose puños y moviéndose. Con otras peleas, como pueden ser de Sanda, Kick Boxing o Muay Thai, está permitido además lanzar patadas y proyectar. Al ser combates más dinámicos, la estructura ha de estar pensada para soportar impactos puntuales y



absorber la mayor cantidad de esfuerzos que se originen en cualquier dirección dentro del plano que comprende el suelo.



Figura 4. Impacto en un combate de Sanda [26]

- b) Desmontable: La gran diferencia que presentará este proyecto con los cuadriláteros que se venden en el mercado, es que será posible desmontarlo en distintas partes y guardarlo. Esto implica una menor necesidad de espacio, así como la posibilidad de transportarlo a cualquier otro sitio donde pueda ser vuelto a montar. Por ello, ha de ser diseñado de manera tal que cada pieza por separado no pese más de lo que una persona pueda cargar (se estimará en 30 *Kg/persona*) pero que, en conjunto, suponga la suficiente carga como para que el combate sobre ello no lo desplace. Por tanto, se ha de buscar reducir las soldaduras al mínimo y atornillar en su defecto.
- c) Competitivo económicamente: El precio del proyecto ha de intentar ser bastante menor al del resto de competidores para que merezca la pena pensar en comprar/fabricar este en vez de comprar los otros. El proyecto comienza con una desventaja en costes debido al superior precio de la compra de acero al por menor (como particular se compraría solo lo necesario para un cuadrilátero) lo que impide cualquier descuento por grandes cantidades.

- d) Fácil fabricación: Ha de poder ser fabricado mediante perfiles comerciales normales, de manera que su fabricación pueda estar al alcance de cualquiera que tenga un mínimo material de trabajo como una radial, soplete o una máquina de soldar.

### 1.3. Estilos de Lucha

Como se ha mencionado, el cuadrilátero será diseñado para soportar distintas formas de lucha. Esto no quiere decir que la estructura deba soportar todas las variantes de combate que existe en las artes marciales, ya que algunos como el Taekwondo o el Karate se pelean sobre tatami en el suelo, y otros como el MMA (Mixed Martial Arts) requieren de una geometría tan específica (la jaula) que no sirven para nada más.

En vista a identificar el mercado objetivo, se explicarán las artes marciales que puede soportar el proyecto:

- a) Boxeo: La práctica del pugilismo se remonta hasta antes del 10.000 a.C. donde se han representado imágenes de hombres combatiendo con los puños en pinturas rupestres en Albacete, España. La actual Etiopía, Mesopotamia, Egipto, India y Creta son ubicaciones donde se han descubierto también prácticas de este deporte con un carácter festivo entre los años 6.000 a.C. y 2.000 a.C.



Figura 5. Ánfora panatenaica del 336 a.C. [27]

Frescos en la isla de Santorini muestran como, para el año 1550 a.C., ya se empleaban equivalentes a guantes de boxeo. En el 1500 a.C. el pugilismo se



Figura 6. Antecedentes del guante de boxeo [27]

incorpora a los Juegos Cretenses como juego militar y en el 688 a.C en los XXIII Juegos Olímpicos de Grecia, donde Onomastos de Smirna es proclamado como primer campeón olímpico.

En el 27 a.C. el pugilismo llega al Imperio Romano, pero este pierde sus características originales y se convierte en actividad profesional al ser utilizado en los coliseos con los gladiadores. Para el 30 d.C. empieza a emplearse una delimitación circular en el suelo a modo de ring, pero con la difusión del cristianismo en el 40 d.C., esta práctica cae en el

olvido en Europa hasta ya entrado el siglo XVII que reaparece en Inglaterra.

En 1681 el duque de Albermarie organizó un combate por dinero entre su mayordomo y su carnicero que quedó reflejado en una gaceta de Londres. Esto volvió a impulsar el boxeo, organizándose veladas en el Royal Theatre bajo reglas más parecidas a las de la lucha libre que al boxeo de hoy en día. James Figg, primer campeón del mundo de los pesos pesados reconocido con los puños desnudos (1719), abrió su propia academia y publicitó mucho el deporte, consiguiendo cambiar la mentalidad de la gente sobre esta actividad. Su pupilo, Jack Broughton, esbozó las primeras reglas del boxeo en 1743. Estas reglas serán modificadas posteriormente en 1838, en 1853 y en 1867 con las reglas del Marqués de Queensbery, que son la base de las actuales.



Figura 7. James Figg

En 1777 aparecen los primeros boxeadores americanos, muchos de ellos esclavos negros que los lugartenientes utilizaban para ganar dinero.

A partir de 1880 hasta el día de hoy, el boxeo arranca como deporte de competición y exhibición, moviendo cuantiosas sumas de dinero mediante las apuestas.

Sus reglas son sencillas, solo son válidos los puños aplicados de cintura para arriba, estando prohibido el uso de los brazos. Los combates son a 3 minutos con uno de descanso entre asalto y asalto. Se puede ganar bien por K.O. o bien por puntuación si se llega al límite de los asaltos previamente establecidos. Algunos boxeadores que han marcado historia son Jim Jeffries, Rocky Marciano, Cassius Clay, Roberto Durán, Mike Tyson, Óscar De La Hoya o Francisco Javier Castillejo.



Figura 8. Cassius Clay combatiendo

- b) Full Contact: Nace en el estado de California, E.E.U.U, en 1974 por Mike Anderson. Debido a las normas de competición de las artes marciales que había en esos momentos como el Karate, Taekwondo o Kung Fu, realizar una marcación por puntos no permitía una verdadera resolución del combate, lo que dejaba a muchos competidores insatisfechos y se generaba mucha polémica.

Esto incentivó a un grupo de karatekas americanos a formar un equipo y desafiar a todo practicante de artes marciales que quisiera medirse con ellos en el ring, usando las reglas del Full Contact y hasta lograr el K.O. Rápidamente se extendió por toda América y Europa, realizándose al poco campeonatos mundiales.

El auge mundial llegó en los 90, cuando muchos practicantes de distintas modalidades de artes marciales pasaron a entrenarse también con la metodología del boxeo.

Sin embargo, las grandes similitudes que tenía con el Kick-Boxing hicieron que al poco tiempo, el reglamento adoptara las normas de este segundo, quedando como propio solo la indumentaria debida para competir (un pantalón largo y con gomas) y los asaltos máximos por velada según la liga en la que se compitiera.

Del mismo modo, muchos competidores famosos de este campo como son Bill Wallace o Benny Urquidez, también lo son de ese.



Figura 9. Combate de Full Contact

- c) Kick-Boxing: Creado como deporte de contacto por el promotor de boxeo Osamu Noguchi sobre 1950, tiene sus orígenes en el Muay Thai. Su idea era introducir en Japón el Muay Thai que había visto en Thailandia, tras muchos de sus viajes por el mundo mirando encuentros de boxeo populares. Consiguió traer a tres luchadores a Japón para pelear contra tres luchadores de karate del dojo Oyama (más tarde conocido como Kyokushin), y aunque Japón ganó 2 a 1, Noguchi y Kenji Kurosaki (ambos instructores de karate del dojo) estudiaron Muay Thai y desarrollaron este nuevo estilo de combate que Noguchi llamó “Kick Boxing”. Junto con Tatsuo Yamada, creador del Nihon Kempo Karate-Do, sobre 1959 promovieron veladas Muay Thai Vs Karate popularizando el nuevo estilo.

La Asociación de Kick Boxing apareció a mediados de 1967 en Japón, donde se volvió muy popular gracias a Tadashi Sawamaru (uno de los principales kickboxers) hasta que este se retiró. Tras esto, no se volvió a saber de dicho estilo

hasta 1993 con la aparición del K1, que empleaba muchas de sus reglas, y se extendió por el resto del mundo.



Figura 10. Tadashi Sawamaru

A pesar de estas raíces, no puede ser considerado como un arte marcial, sino un deporte de contacto competitivo que ha ido adaptándose al ring, modificando sus técnicas originales como es su patada, o la prohibición de proyecciones y cabezazos. Sus reglas varían un poco según qué federación organice la competición, pero por lo general suele valer cualquier tipo de patada a cualquier altura, puños a la cara y están prohibido los agarres, codos y rodillazos, así como golpes en los genitales.

Algunas estrellas de este estilo son Bill *Superfoot* Wallace, Benny *The Jet* Urquidez, Kathy Long y Danis Alexis.



Figura 11. Benny Urquidez

- d) Muay Thai: De acuerdo a los mitos de las altas montañas del norte de China y el Tibet, los primeros tailandeses emigraron al Sur y se establecieron en la antigua Siam. Las tribus Thai, 5 por entonces (Thai, Phuti, Puan Chang, Ngeaw y Khein), hablaban el mismo idioma y vivían cerca del río Yangsima. Aunque pacíficas, se vieron obligadas a defenderse del Imperio Chino y así, poco a poco, expandir sus territorios hacia el Sur.





Figura 12. Río Yangsimá



Figura 13. Río Kongé

Se cree que budistas e hindúes organizaron estas tribus y fundaron su primer pueblo, Phang, que se asentó cerca del lado Sur del río Kongé (o Mekong) en el 857 d.C. y poco a poco expandieron sus territorios hasta los ríos Chouphaya y Aradwadu. El trueque de bienes empezó a florecer y eso mejoró el nivel de vida, pero seguía habiendo guerras por el control de las tierras y el intercambio de información en el comercio con extranjeros hizo que adoptaran sus estrategias bélicas. Fue entonces cuando el Muay Thai se convirtió en un método de defensa personal necesario para todo tailandés.

Durante los siglos XIII a XV se originó una revolución social y cultural en Tailandia. Bajó el periodo Sokothai se incentivó la creatividad promoviendo las

artes como la literatura, música, poesía, pintura y también el Muay Thai. Esta disciplina se empezó a ver como un arte noble, en el que el guerrero era además un caballero que empleaba la pelea para zanjar temas de honor (como podría ser el caballero en Inglaterra con los duelos con pistolas). Sin embargo, en el 1238 empezaron una serie de guerras, la Khun Sri, la Praya Lithai y la Sailathai, que duraron un total de 12 años durante los cuales todo soldado debía ser entrenado con el Muay Thai y sus técnicas (en especial con armas) fueron continuamente mejoradas.

En tiempos de paz, este arte marcial también se enseñaba a todo hombre joven que lo convertía en una tarea diaria. Incluso los reyes y príncipes debían estar entrenados en ese aspecto y el lugar de entrenamiento era el Templo, donde también se aprendían tradiciones, arte o medicina. De esta manera, el Muay Thai fue enseñado a todo el pueblo.



Figura 14. Inicios del Muay Thai

El gran impulso final lo dio el rey Rama V, que tomó el trono en 1868 y, como gran apasionado de este deporte, organizó torneos anuales por toda Tailandia, escuelas y campos de entrenamiento (Khai Muay). Creó el Ministerio de Educación de Tailandia que se encargaba de que toda escuela lo entrenara, y ha llegado a ser tan querido por los tailandés que los combates han de ser retransmitidos en todo momento. En 1914 se extendió por toda Europa.

En sus orígenes no existía un cuadrilátero, sino que se delineaba un cuadrado en el suelo con cuatro postes en sus esquinas y una cuerda atada en la parte superior para delimitar la zona. Se cronometraba cada asalto mediante la mitad de una cáscara de coco con un orificio en el centro, que se depositaba sobre una cubilete lleno de agua y se peleaba hasta que se hundiera la cáscara. Además, se protegían los genitales con cáscaras de coco y las manos se ataban con un vendaje suave, que luego se amarraba con una soga, lo que daba más fuerza al amarre, y tras meter la protección



en resina de árbol, las sumergían en vidrio molido. El primer combatiente que consiguiera derramar sangre de su oponente era el vencedor. Sin embargo, con los cambios efectuados en el terreno de combate (ahora un cuadrilátero) y los guantes de boxeo, en 1937 el Departamento de Educación Física de Tailandia modificó las reglas para hacerlas más seguras, de manera que ahora son válidas todo tipo de patadas y agarres (siempre que previamente se haya lanzado la patada), proyecciones, empujones para desestabilizar, rodillazos y codazos, así como golpes en la espalda y nuca. No hay un número máximo de caídas posibles y básicamente, salvo golpear los genitales, todo es posible.

Entre las figuras más destacadas del Muay Thai se encuentran Nai Kau Muangyos, Nainok Shai Sirisek, Panom Yeerum (Tony Jaa), Ramon Dekkers, Buakaw Por Pramuk y la leyenda Nahy Khanom Thom, quien siendo prisionero del ejército Burmes, obtuvo su libertad al derrotar a 12 luchadores seguidos de dicho ejército. Gracias a este, el 17 de Mayo se celebra en Tailandia el Día Nacional del Muay Thai.



Figura 15. Combate de Muay Thai

- e) Sanda (San Shou): Significa “combate libre” y es la modalidad de combate deportivo del Wushu chino. Nació como una recopilación de técnicas de muy diversos estilos del Wushu, pero su evolución ha hecho que se le pueda considerar prácticamente como un estilo más. El Wushu, desde su nacimiento, estuvo al servicio de la guerra con una clara orientación militar, desde muy temprano (Dinastía Zhou Occidental, 711 a.C.) aparecieron gran cantidad de pruebas deportivas como el Jisoli (prueba de fuerza) o el Jiaodi (lucha cuerpo a cuerpo).

---

Aunque no se encuentra un claro precedente del Sanda actual hasta la Dinastía Tang (618-907 d.C), donde mediante una prueba de selección de los mejores guerreros, estos debían combatir sin reglas sobre una plataforma elevada de 3 metros de altura, denominada Da Leitai. Dichas pruebas fueron acaparando la atención y acelerando la aceptación del Wushu por el pueblo chino, a lo que también contribuyó el desarrollo paralelo de su utilización por los civiles.

Podemos encontrar los primeros reglamentos del Sanda en la Dinastía Song (960-1279), reglamentos que no han cambiado demasiado desde entonces. Pero como deporte actual podemos fechar su origen en el año 1990, cuando el Wushu, y sus diferentes modalidades, fue incluido como deporte oficial en los XI Juegos Asiáticos. Existen actualmente un gran número de competiciones de Sanda por todo el mundo, cuyo reglamento varía en función de los organizadores de la competición, aunque podemos señalar como reglamento “modelo” el siguiente: Si son amateurs, los combates se llevan a cabo sobre una plataforma (Leitai) de 8 por 8 metros de superficie y 60 cm de altura. El competidor debe ir ataviado con casco, peto, coquilla, espinilleras, empeines, bucal y guantes unificados de boxeo. El equipo de protecciones es de color rojo para un competidor y negro para su adversario y el color de los calzones de los competidores debe coincidir con el color del equipo de protecciones. Las categorías se dividen por pesos, existiendo 11 categorías diferentes. Los combates son al KO, es decir, se debe golpear a plena potencia, debiendo ganar 2 de 3 asaltos posibles de 2 minutos de duración y 1 de descanso entre asalto y asalto. Las técnicas permitidas incluyen patadas, puñetazos, agarres y proyecciones. Se puede golpear en cualquier zona del cuerpo excluyendo los testículos, cuello, nuca y parte posterior de la cabeza, estando prohibido también el presionar las articulaciones en el sentido contrario a su movimiento.



Figura 16. Combate de Sanda

De ser combates profesionales, no se emplearían protecciones salvo el bucal y los guantes de boxeo, se pelearía sobre un ring de boxeo, se permiten los golpes de rodilla, son cinco asaltos en lugar de tres y al final se enfrentan los campeones de cada peso para proclamar un campeón.

- f) Savate: O Boxeo Francés, es un estilo de combate francés y único arte marcial originado en Europa, sistematizado durante la época posnapoleónica en 1845.

El origen es desconocido, pero se cree que fueron los marineros del siglo XVII de Marsella los que lo introdujeron, ya que en sus largos viajes usaban las patadas y estiramientos para mantenerse en forma, posiblemente ejercicios aprendidos de la relación con Asia debido a sus viajes a Burma, Tailandia y China. También se cuenta la historia de un marinero, Michel Sanary, campeón de la armada y gran luchador, que se negó a pagar al salir de un burdel, y cuando el guardaespaldas del lugar (un chino bajito) lo derrumbó castigándole las piernas y rodillas a patadas, hizo que el resto de sus compañeros copiasen esas patadas. Lo cierto es que a partir de ese momento, se empezó a ver en las peleas de los callejones portuarios franceses, muchas más patadas que se denominaron “*Chausson*”, por el calzado que se usaba.



Figura 17. Representación de dos marineros peleando en la cubierta de un barco

Paralelamente, los soldados de la armada de Napoleón desarrollaron un nuevo tipo de castigo para los prisioneros llamado La Savate (literalmente, *El Viejo Zapato*). En él, un grupo de soldados debía sujetar al prisionero mientras un tercero le pateaba brutalmente el trasero. Tal vez este castigo fuese introducido al público, pero para el inicio del siglo XIX, los rebeldes de París peleaban más con las piernas que con los puños, y así es como se le llamó a este nuevo tipo de pelea La Savate.

Michael Casseuse esquematizó y estructuró estas técnicas observando a los mejores peleadores callejeros obteniendo un sistema refinado en el que predominaban las patadas circulares, laterales y frontales a las rodillas, espinillas y empeines. Las manos se posicionaban abiertas en la parte baja para defender la ingle. En 1842, este Casseuse publicó un panfleto sobre el Savate, que atrajo la atención de toda Francia y le convirtió en un maestro de la defensa personal, empezando a ser desafiado por muchos peleadores callejeros que querían ponerle a prueba. Casseuse nunca perdió y gracias a estos encuentros incorporó a sus técnicas distintos niveles de pegada como son el medio y el alto.

Charles Lecour, alumno de Casseuse, introdujo los agarres y proyecciones que ya se usaron para el 1845, fruto de sus viajes a Inglaterra y contacto con el boxeo inglés.

En 1850, Louis Vigneon o *El Hombre Cañón* obtuvo el título de gran campeón de Savate.

El último hombre que refinó este estilo fue Joseph Charlemont. Tras viajar por toda Europa en 1862, introdujo la teoría de la esgrima occidental y los desplazamientos, a la vez que perfeccionó la técnica de lucha.

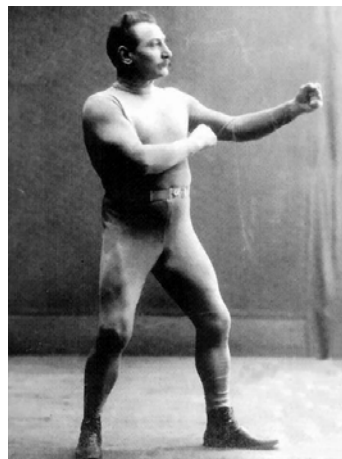


Figura 18. Joseph Charlemont

Aunque este sistema de combate se llegó a extender mucho en Europa por rivalizar con el boxeo inglés (se realizaron varias competiciones en el que se ponían a prueba los dos estilos), la Primera y Segunda Guerra Mundial acabaron con muchos de los practicantes mejor formados. Si se practica hoy en día es gracias al conde Pierre Baruz, que los transmitió nuevamente por Italia, Holanda, Suiza, Alemania, Bélgica, Canadá y África.

Actualmente, la forma de distinguir esta modalidad de combate del resto es por la cantidad de patadas que se llevan a cabo y por las vestimentas, que constan de una camiseta de tirantes, pantalones largos y deportivos por calzado.



Figura 19. Combate de Savate

---

## 1.4. Normativa

Conocidos los estilos de combate que pueden realizarse en un cuadrilátero, también es necesario saber qué normas de cada vertiente son aplicables al proyecto para poder realizar un diseño que cumpla con todas. Estas normas son impuestas por distintas federaciones para realizar sus propias competencias y, si bien no tienen nada que ver con temas legales, de no cumplirse supondría perder a mucho clientes.

Puede haber miles de federaciones, pero al final solo unas pocas son mundialmente conocidas y estas son las que terminan guiando al resto. De todas las observadas, como son la FIDAM [11], la FEB [12], La Asociación Española de Kuoshu [13] o la de Muay Thai [14], etc., en lo relativo a las imposiciones o recomendaciones del entorno de combate, absolutamente todas se apoyan en las normas de la AIBA [17] del que se puede extraer lo siguiente:

- a) *“En todos los eventos aprobados por la AIBA, el ring de competencia debe tener un tamaño de 6,10 metros de largo (20 pies) dentro de la línea de las cuerdas. Para todas las demás competencias, las dimensiones mínimas dentro de las cuerdas deben ser 4,90 metros de largo (16 pies) y 6,10 metros como máximo (20 pies)”.*
- b) *“El tamaño del borde debe ser de 85 cm (33,5 pulgadas) fuera de la línea de las cuerdas de cada lado para todos los eventos aprobados por al AIBA y por lo menos 46 cm (18 pulgadas) fuera de la línea de las cuerdas a cada lado para las demás competencias, incluyendo lona adicional necesaria para apretar y ajustar”.*
- c) *“Para todos los eventos aprobados por la AIBA, la altura del ring debe ser de 100 cm (3,3 pulgadas) desde el suelo. Para las demás competencias, el ring no estará a menos de 91 cm (3 pies) ni a más de 1,22 m (4 pies) por encima del piso firme o la base”.*
- d) *“La plataforma debe tener una estructura sólida y nivelada y no presentará elementos sobresalientes que obstaculicen los movimientos. Estará equipado con cuatro postes en las esquinas, que deberán estar bien acolchados a fin de evitar lesiones a los boxeadores”.*

- 
- e) *“El piso estará cubierto de fieltro, goma u otro material debidamente aprobado con propiedades similares de elasticidad y un grosor mínimo de 1,3 cm (media pulgada) y máximo de 1,9 cm (3/4 de pulgada), sobre el que se extenderá, tensará y fijará una lona gruesa”.*
  - f) *“La lona debe cubrir toda la superficie de la plataforma y debe estar hecho con material antideslizante”.*
  - g) *“En todos los eventos aprobados de la AIBA el ring debe estar rodeado de cuatro (4) cuerdas independientes con un grosor de 4 cm., sin considerar la cubierta. Las cuatro (4) cuerdas deben estar a una altura de la lona de 40,6 cm (16 pulgadas), 71,1 cm (28 pulgadas), 101,6 cm (40 pulgadas) y 132,1 cm (52 pulgadas) respectivamente.”*
  - h) *“Las cuatro (4) cuerdas deben estar unidas entre sí en cada lateral y a intervalos regulares con dos cintas de tela (de una textura parecida al de la lona) de 3 a 4 cm (1,2-1,6 pulgadas) de ancho. Estas cintas no deben deslizarse a lo largo de las cuerdas”.*
  - i) *“La tensión de cada una de las secciones de la cuerda debe ser lo suficientemente fuerte como para soportar el impacto de un boxeador. Sin embargo, en cualquier caso, el árbitro tiene derecho a ajustar la tensión si lo estimase necesario”.*

Conocidos ya todas las incógnitas, se puede pasar a diseñar el cuadrilátero de boxeo. A continuación se explicará brevemente los pasos a seguir.

## **1.5. Procedimiento**

Mediante las dimensiones proporcionadas en la normativa y la experiencia del autor en este entorno, se realizará el prediseño de un modelo mediante la herramienta de diseño y análisis SolidWorks. Dicha herramienta permite también realizar análisis por elementos finitos con muy buenos resultados, por lo que se empleará para someter al modelo a una serie de casos con cargas estáticas (ver Apartado 3).

---

Con los resultados obtenidos, se realizarán modificaciones sobre el modelo, con el fin de afinar mejor el diseño a las distintas solicitaciones. Al modelo resultante, se le someterá a continuación a casos con cargas dinámicas como pueden ser vibraciones e impactos (ver Apartado 4) y tras realizar las últimas modificaciones sobre este, se conseguirá un modelo final que responderá a los requisitos fijados.

Además, con los esfuerzos calculados, se dimensionarán los elementos de unión como son las soldaduras y tornillos y se realizará un estudio económico del diseño para comprobar su viabilidad.

## **2. METODOLOGÍA:**

Antes de realizar los análisis y estudiar los resultados en el modelo han de explicarse las consideraciones llevadas a cabo en el ensamblaje, los casos de estudio que se emplearán y las opciones escogidas para calcular el modelo por elementos finitos.

Estas hipótesis y consideraciones podrán variar según el tipo de estudio que estemos realizando, sea este estático, dinámico, etc. en cuyo caso se especificará en su correspondiente apartado. Como se explicó anteriormente, el programa que se empleará será SolidWorks, lo que hace que todo lo que se detalle a continuación, sea referido a su configuración o funcionamiento.

### **2.1. Herramienta de Análisis:**

SolidWorks surge en 1995 como un programa de diseño para el modelado mecánico en 3D, desarrollado por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes, S.A.

Aunque originalmente el programa solo servía para diseñar, con el paso del tiempo y las nuevas versiones, Solidworks permite además sacar cualquier tipo de información en base al diseño hecho (bien sean características geométricas o planos de diseño), y gracias a los complementos que ha ido implementando, realizar ensamblajes mediante varias piezas con los que hacer estudios de movimiento (complemento MOTION), o analizar las piezas y ensamblajes por elementos finitos, bien sean casos estáticos, dinámicos, térmicos, etc. (complemento SIMULATION).





Figura 20. Logo SolidWorks

Sobre los ensamblajes, basta saber que SolidWorks permite definir tres tipos distintos de contactos, bien entre caras o entre elementos. Estos son:

- a) Sin penetración: Los elementos en contacto no pueden penetrar unos en otros, pero si debido a las tensiones producidas se tuvieran que separar del contacto original con el que se ensambló, estos podrían.
- b) Unión rígida: Es un contacto sin penetración en el cual se restringe la posibilidad de separarse los elementos, como si estuviesen pegados.
- c) Con penetración: Es un tipo de contacto irreal en el que si debido a las tensiones o deformaciones, un elemento tuviese que traspasar otro, este podría. Solo se utiliza cuando se sabe de antemano que no habrá colisiones ya que es un contacto que simplifica mucho el análisis.

En el caso de la simulación, SolidWorks puede realizar mallados mediante elementos tetraédricos (3D), triangulares (2D) y de vigas. Estos elementos tienen la ventaja de ser geométricamente muy versátiles y, para programas de análisis menos potentes, donde no se da la opción de elegir el mallado más allá del tamaño del elemento, suelen ser la opción por excelencia. Sin embargo, presentan el inconveniente de ser elementos muy rígidos con una convergencia muy lenta, lo que ralentiza el análisis frente a elementos hexaédricos.




Para aminorar este problema con el mallado, SolidWorks sí permite elegir entre tres tipos distintos de Solvers, que se ajustan a las necesidades del usuario según el caso.




Estos son:

- a) Automatic: El programa selecciona el Solver a partir del tipo de estudio, opciones de análisis, condiciones de contacto, etc. Es la opción por defecto cuando se realizan estudios estáticos, de frecuencia y térmicos.
- b) Direct Sparse: Se emplea en estudios donde se encuentran áreas con múltiples contactos que requieren de muchas iteraciones.
- c) FFEPlus: Para estudios no lineales con modelos de más de 25.000 grados de libertad.

Por regla general, con FFEPlus se obtienen resultados más rápidos que con el Direct Sparse si los grados de libertad son lo suficientemente elevados, pero una mayor capacidad de memoria acelera el cálculo con Direct Sparse.

En cuanto a la elección de análisis, solo se emplearán los que SolidWorks ha nombrado como Estático y Dinámico. Del Estático poco hay que decir, ya que es el análisis básico y poco se puede configurar. Sin embargo, dentro de los Dinámicos podemos encontrar:

- a) Dinámico lineal:  Emplea las frecuencias y formas modales para estudiar la respuesta a una carga dinámica. Las propiedades de los materiales han de ser por tanto lineales. Dentro de este tipo se pueden encontrar diferentes modos de estudio según el tipo de carga que se vaya a aplicar:
  - Gráfico de historia-tiempo:  Cuando la variación de la carga a lo largo del tiempo se conoce explícitamente y se está interesado en obtener la respuesta como una función del tiempo. Típica en cargas de choque. Realiza un análisis para cada paso de tiempo marcado dentro de un intervalo prefijado.
  - Armónico:  Para cargas armónicas en estado estable o excitaciones en la base. Resulta mejor que el gráfico de historia-tiempo si se desea omitir la variación transitoria de la respuesta en el tiempo.

- 
- Vibración aleatoria:  Cuando las cargas no están determinadas, pero se sabe el rango de frecuencias en el que se va a trabajar.
  - Análisis de espectro de respuesta:  Los resultados de un análisis modal se utilizan en función de un espectro conocido para calcular los desplazamientos y las tensiones en el modelo. Para cada modo, se lee una respuesta de un espectro de diseño basada en la frecuencia modal y en un cociente de amortiguamiento determinado. A continuación, se combinan todas las respuestas modales para ofrecer una estimación de la respuesta total de la estructura.
- b) Dinámico no lineal:  Para aquellos materiales con un comportamiento no lineal como podría ser el caucho.

Resulta crucial conocer cada una de estas opciones, así como sus limitaciones, ya que según cual se escoja, el modelo deberá tener unas características u otras. En el apartado 2.3 vendrá explicado la configuración empleada.

Sabiendo ya como funciona la herramienta, se pasará a explicar cómo se diseñará el cuadrilátero.

## 2.2. Prediseño del Cuadrilátero:

El cuadrilátero se fabricará mediante perfiles tubulares comerciales que se ensamblarán entre sí por medio de tornillos o soldaduras. Dicho ensamblaje formará la estructura que soporte después todo el combate. Para formar el suelo sobre la estructura se recurrirá a tableros de madera aglomerada de dimensiones estandarizadas que se cortarán a medida en caso de ser necesario. Sobre este se pondrá otra capa de caucho que servirá para amortiguar los golpes. Por último se recubrirá todo con una lona antideslizante que será la que pisen los combatientes y que se tensará por medio de cordeles usando los perfiles inferiores de la estructura.

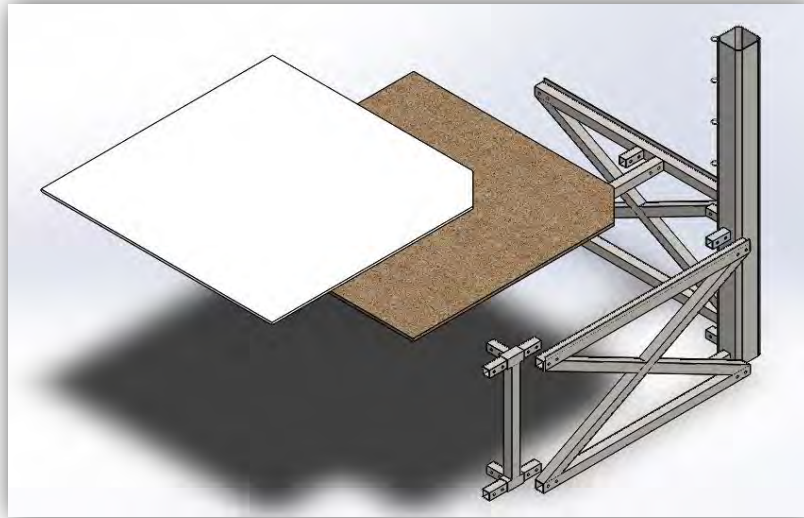


Figura 21. Ejemplo de montaje del proyecto

A partir de este momento, se entenderá por Componente de la Estructura o Componente, a los perfiles de esta que serán unidos entre sí por medio de soldaduras con el objetivo de obtener pequeños elementos ya formados que faciliten y aceleren el montaje del conjunto total. Debido a que dichos componentes han de ser fáciles de transportar y cargar, se buscará que el peso de estos no supere el de 30 Kg/persona y que no sea necesario el uso de más de tres personas para su desplazamiento. No debe olvidarse que uno de los objetivos finales que persigue el proyecto, es el de obtener un producto barato, y por tanto la mano de obra en el montaje y transporte ha de ser la menor posible.

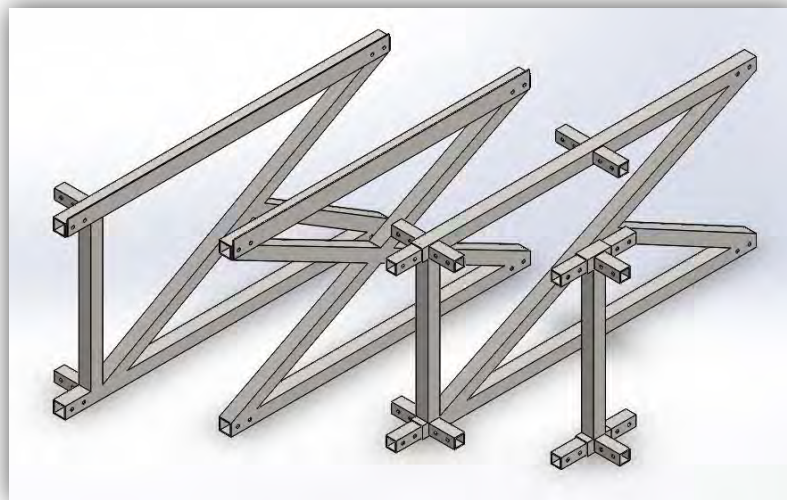


Figura 22. Ejemplo de varios componentes usados en el proyecto

---

Por dicho motivo también se han de buscar uniones entre componentes sencillas y rápidas de realizar y es ahí donde se requerirán las uniones atornilladas de métrica 20 mediante el juego de perfiles telescópicos, de manera que se atornillen unos dentro de otros. Se empezará usando esta métrica por ser tornillos que aguanten esfuerzos considerables y tener los perfiles dimensiones suficientes para permitir su taladrado sin miedo a rasgarse. Al final del proyecto se afinará dicha métrica conociendo los esfuerzos a los que serán sometidos los tornillos (ver Apartado 5.2). Los componentes del modelo pueden verse en los planos al final del proyecto.

### **2.3. Modelos:**

Conocidas ya las dimensiones del cuadrilátero (ver Apartado 1.4), de qué está compuesto (ver Apartado 2.2) y, las limitaciones que da la herramienta de cálculo (ver Apartado 2.1), se explicará el modo en que se ensamblarán y analizarán cada uno de los modelos que vayan surgiendo a lo largo del proyecto.

A la hora de realizar el ensamblado del conjunto de componentes hay que tener en cuenta que, al tratar con modelos complejos, será complicado poder realizar un mallado compatible con todos ellos y un solo análisis requerirá de mucho tiempo y prestaciones del ordenador. Por ello se reducirán el número de componentes y elementos de estudio de la siguiente manera:

- a) Las soldaduras no se tendrán en cuenta en los modelos de estudio. SolidWorks tiene la posibilidad de unir elementos mediante soldaduras indicando el material de aporte y el diámetro de la varilla, pero requiere de demasiada potencia para realizar el análisis, por lo que en su lugar se supondrán soldaduras perfectas y se modelarán los elementos soldados como una única pieza, dejando el estudio de estas para los resultados finales (ver Apartado 5.1).
- b) El tornillo es otro elemento difícil de tratar. Se eliminarán estos de los análisis pero se mantendrán las perforaciones en los perfiles con el fin de seguir apreciando la concentración de tensiones, de manera que se sustituirán por uniones rígidas (ver Apartado 2.1) y se harán concéntricos la pareja de perforaciones para que actúen del mismo modo que estando atornillados. Tras una solución final del modelo, se estudiarán estos por separado (ver Apartado 5.2).

---

Los perfiles estructurales se seleccionarán para tener una unión rígida, ya que es como actuarían de estar atornillados. Los tableros, en un caso general, deberían mantener una unión sin penetración ya que ante una gran carga en el centro de la plancha, las zonas apoyadas sobre la estructura podrían levantarse aumentando la flecha de la parte en voladizo que desciende. Sin embargo, las distintas federaciones que validan los cuadriláteros exigen que sean estructuras sólidas para que el combatiente no sienta los movimientos y, aunque esto deja cabida a una gran interpretación, en este proyecto se buscará que la flecha máxima que se produzca sobre el tablero sea inferior o igual a 4mm.

Esto permitirá, para los análisis estáticos, suponer que siempre habrá un contacto madera-estructura y así, para cada modelo, poder descomponer dicho estudio en dos análisis distintos que faciliten los cálculos:

- a) Análisis A: Tras realizar un modelo padre, se escogerá el tablero (o tableros) que pueda resultar más desfavorable ante los distintos casos y se realizará un submodelo en el cual se apoyará dicho elemento sobre una estructura básica con 4 patas. Dicho conjunto poseerá un contacto sin penetración, lo que permitirá ver el comportamiento real de la madera y las tensiones a las que será sometida, sin tener que estudiar el cuadrilátero completo que ralentizaría mucho los cálculos. Para que dicho estudio sea real, el marco que sostenga el tablero ha de poder deformarse, impidiendo que se pueda restringir alguno de sus movimientos con condiciones de contorno. Por ello han de colocarse las 4 patas, pero teniendo cuidado de no impedir flexiones tanto en el marco antes mencionado, como en estas por pandeo, por lo que se han de hacer buscando que tengan un gran área pero un mínimo momento de inercia.

Se recuerda una vez más que el objetivo de este análisis es conseguir la verdadera deformación y esfuerzo en el tablero, por lo que no importa si la estructura que los sostenga difiere algo de la real si los contactos madera-acero sí lo son.

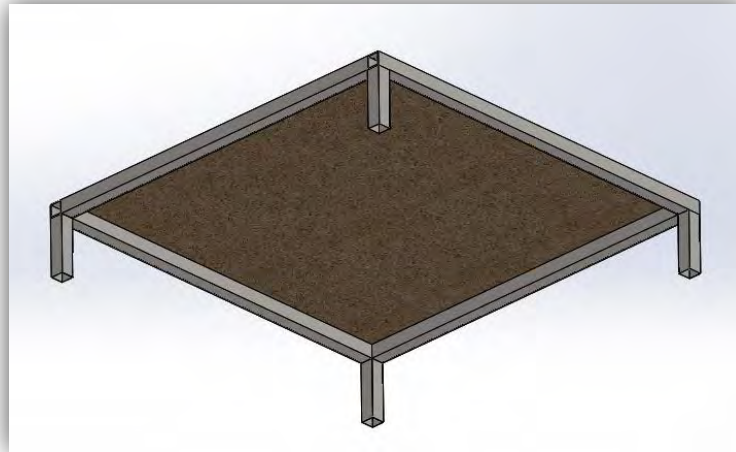


Figura 23. Imagen del submodelo

- b) Análisis B: Una vez se han obtenido las dimensiones del tablero óptimas, se modificará la estructura inicial si fuese necesario y se llevará a cabo el estudio aplicando las distintas cargas para cada caso. Al haber demostrado que las deformaciones están por debajo del límite, dichos estudios se podrán realizar imponiendo una unión rígida entre todos los elementos (tableros incluidos) lo que disminuirá mucho el tiempo de cálculo del programa.

En los análisis dinámicos (impactos y frecuencias), SolidWorks solo permite seleccionar uniones rígidas y con penetración, por lo que se recurrirá a las uniones rígidas en todos los elementos. En el estudio de frecuencias no afectará en nada, y para el de impactos, a diferencia del estático, las deformaciones pasarán a tener un valor secundario, por lo que tampoco importará demasiado obtener un valor orientativo.

Para las restricciones de contorno, los distintos modelos que se realicen superarán la tonelada de peso, por lo que el cuadrilátero no se moverá del sitio al recibir impactos (consiguiendo con ello cumplir una de las normativas que es el dar rigidez al conjunto, ver Apartado 1.4). Esto permite aplicarles a las caras inferiores de la estructura una unión empotrada.

En lo referido a la elección de los Solvers, se empleará el Automatic para los casos estáticos y de impactos, por no tener geometrías especialmente complejas, y el Direct Sparse en los de frecuencias, por ser el único permitido al realizar los estudios con una carga aplicada.

En los análisis de frecuencias, se configurarán para obtener los 15 primeros modos; solo los 5 primeros son los más importantes a la hora de estudiar la resonancia, pero así aumentan las posibilidades de obtener modos que deformen la estructura en todas las direcciones posibles. Los resultados que se obtienen son las frecuencias naturales del componente, los modos de deformación representados y un valor del desplazamiento producido en dichos modos. Para el proyecto solo se emplearán las frecuencias resultantes y se utilizarán los modos de deformación para entender comportamientos futuros (ver Apartado 4.2).

Por último, los análisis dinámicos se realizarán usando un análisis dinámico lineal con la opción de Gráfico Historia-Tiempo (ver apartado 4.3). Se configurará para realizar un estudio durante los 0,5 primeros segundos con un incremento de tiempo de 0,05 segundos, empleando la respuesta ante las 15 primeras frecuencias naturales mediante el Solver Automatic.

## 2.4. Propiedades de los Materiales:

Para realizar un estudio de elementos finitos será necesario conocer las propiedades mecánicas de dichos elementos para poder introducirlas en el programa:

- a) Elementos estructurales: Lo componen perfiles de sección cuadrada o rectangular, de dimensiones muy usadas por cualquier fabricante (lo que facilitará su búsqueda) y cuyo material usado es el acero S275 JR, que se encuentra en las librerías del programa y, por tanto, no requiere de su introducción manual. Estos valores son:
- Módulo elástico:  $210 \cdot 10^9 \text{ [N/m}^2\text{]}$
  - Coeficiente de Poisson: 0.28
  - Módulo cortante en XY:  $79 \cdot 10^9 \text{ [N/m}^2\text{]}$
  - Densidad:  $7800 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
  - Límite de tracción:  $410 \cdot 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]}$
  - Límite elástico:  $275 \cdot 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]}$



---

b) Tableros de madera: Se usarán cuatro tipos distintos de composición a lo largo del proyecto que variarán según el tamaño de la viruta de la madera, el adhesivo y la presión ejercida para su obtención, todos de fácil obtención en el mercado. Estos son:

- Aglomerada para espesores  $6 < t < 13$  mm:
  - Módulo de elasticidad:  $180 \cdot 10^7$  [N/m<sup>2</sup>]
  - Coeficiente de Poisson: 0.29
  - Módulo cortante:  $86 \cdot 10^7$  [N/m<sup>2</sup>]
  - Densidad: 614 [kg/m<sup>3</sup>]
  - Límite de tracción:  $8,9 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
  - Límite de compresión:  $12 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
  - Límite elástico:  $13 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
  - Conductividad térmica: 0,18 [W/m \* K]
  - Calor específico: 1700 [J/kg \* K]
- MDF (Fibra de Densidad Media) para espesores  $1,8 < t < 12$  mm:
  - Módulo de elasticidad:  $370 \cdot 10^7$  [N/m<sup>2</sup>]
  - Coeficiente de Poisson: 0.29
  - Módulo cortante:  $80 \cdot 10^7$  [N/m<sup>2</sup>]
  - Densidad: 740 [kg/m<sup>3</sup>]
  - Límite de tracción:  $13 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
  - Límite de compresión:  $13 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
  - Límite elástico:  $21 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
  - Conductividad térmica: 0,18 [W/m \* K]
  - Calor específico: 1700 [J/kg \* K]

- 
- MDF para espesores  $19 < t < 30$  mm:
    - Módulo de elasticidad:  $270 \cdot 10^7$  [N/m<sup>2</sup>]
    - Coeficiente de Poisson: 0.29
    - Módulo cortante:  $80 \cdot 10^7$  [N/m<sup>2</sup>]
    - Densidad: 550 [kg/m<sup>3</sup>]
    - Límite de tracción:  $12 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
    - Límite de compresión:  $12 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
    - Límite elástico:  $21 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
    - Conductividad térmica: 0,18 [W/m \* K]
    - Calor específico: 1700 [J/kg \* K]
  
  - HDF (Hard Board o Fibras Duras)  $t > 5,5$  mm:
    - Módulo de elasticidad:  $460 \cdot 10^7$  [N/m<sup>2</sup>]
    - Coeficiente de Poisson: 0.29
    - Módulo cortante:  $190 \cdot 10^7$  [N/m<sup>2</sup>]
    - Densidad: 800 [kg/m<sup>3</sup>]
    - Límite de tracción:  $23 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
    - Límite de compresión:  $24 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
    - Límite elástico:  $32 \cdot 10^6$  [N/m<sup>2</sup>]
    - Conductividad térmica: 0,22 [W/m \* K]
    - Calor específico: 1700 [J/kg \* K]

Dichos valores han sido obtenidos de [1] [2] [34] – [42]. Además se considerarán modelos isotrópicos elástico-lineales [5].

- c) Suelo de caucho: Resulta imposible obtener valores exactos para esta clase de material, pero debido a las estimaciones anteriores solo será necesario saber que la presión que ejerce sobre la base de madera es de  $140$  N/m<sup>2</sup>. Dichos datos han sido obtenidos de fabricantes para losas de 19 mm [43] – [51].

d) Base de presión: SolidWorks presenta opciones muy limitadas para aplicar presiones parciales sobre caras de los conjuntos, siendo un problema si una carga se aplica sobre partes de dos elementos distintos. Por lo tanto habrá casos que requerirán de una superficie adicional que delimite la zona de fuerza/presión. Dado que no es un elemento real, habrá que tener cuidado en su uso para que no influya en los resultados y por ello se escogerán los siguientes valores:

- Módulo de elasticidad:  $180 \cdot 10^7 \text{ [N/m}^2\text{]}$
- Coeficiente de Poisson: 0.29
- Densidad:  $0,001 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
- Límite de tracción:  $4 \cdot 10^5 \text{ [N/m}^2\text{]}$
- Límite elástico:  $13 \cdot 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]}$

De esta manera, al no tener casi densidad y usarse bases de 1 mm. de espesor, el peso no afectará a los resultados finales. El resto de valores son los correspondientes al aglomerado, para así permitir que los tablones se sigan comportando de la misma manera ante las deformaciones y no se le añada mayor resistencia mecánica ante posible rotura.

e) Nylon  $\varnothing = 40\text{mm}$ :

- Módulo de elasticidad:  $285 \cdot 10^7 \text{ [N/m}^2\text{]}$
- Peso:  $1,504 \text{ [kg/m]}$
- Límite de tracción:  $780 \cdot 10^5 \text{ [N/m}^2\text{]}$
- Alargamiento máximo: 50%
- Coeficiente de fricción: 0.3
- Resistencia al impacto:  $380 \cdot 10^7 \text{ [J/m}^2\text{]}$
- Conductividad térmica:  $0,28 \text{ [W/m} \cdot \text{K]}$
- Coeficiente de dilatación térmico:  $8,5 \cdot 10^{-6} \text{ [m/m} \cdot \text{K]}$

Dichos valores han sido obtenidos de [33].

---

### 3. ESTUDIO ESTÁTICO:

En este apartado se contemplarán todas las tensiones y deformaciones producidas por cargas que requerirán de un tiempo considerable en aplicarse, pudiendo despreciarse las aceleraciones por ser muy pequeñas.

Ahora que se conoce el modo en que se diseñan los distintos modelos de trabajo, se pasará a explicar la metodología que se seguirá para cada caso concreto de estudio.

#### 3.1. Simplificación de Esfuerzos:

De cara a los futuros análisis, hay dos tipos de cargas estáticas que pueden ser simplificadas para facilitar el modelado del cuadrilátero y acelerar el tiempo de cálculo. Estos son:

- a) Paneles de caucho: Como bien se explicó en el punto 2.4. lo único que se puede obtener de este elemento es su peso por metro cuadrado. Sin embargo, este dato es suficiente para poder representar su acción sobre el modelo como una presión uniforme ejercida sobre toda la cara superior del tablero de madera, igual a  $140 \text{ N/m}^2$ . Será importante recordar para futuros puntos que es una presión provocada por la masa de otro cuerpo.

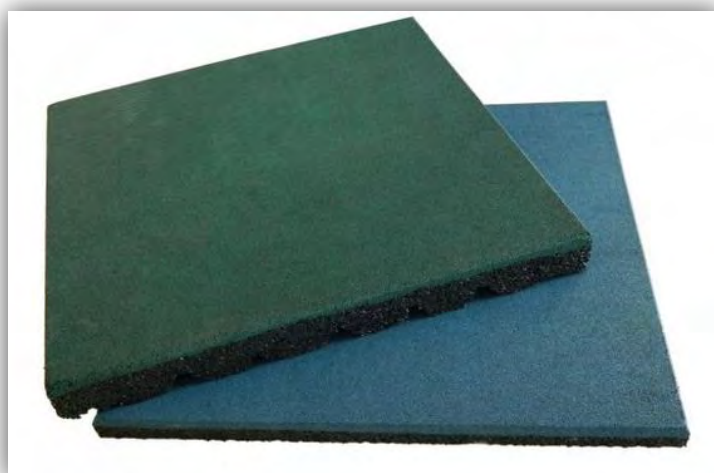


Figura 24. Loquetas de caucho [41]

- b) Cuerdas: Son un elemento crucial en cualquier cuadrilátero y habrá que tenerlas muy presentes en este proyecto, ya que intervienen activamente tanto en los estudios estáticos como en los dinámicos. Estáticamente hablando, las cuerdas son un peso muerto a lo largo de todo el ring que, junto con todos los accesorios necesarios para su montaje, suponen una gran carga para los postes, encargados de soportarlos.

Al igual que pasa con las losas de caucho y muchos otros elementos de este entorno, los proveedores no dan gran información sobre el producto que venden, sino que como esta estandarizado, se compra aceptando que es el que debe de ser. Por ello, las mismas federaciones solo exigen en su normativa la cantidad de filas de cuerdas que se han de poner entre poste y poste y la altura a la que debe de estar cada fila del suelo (ver Apartado 1.4).

Realizando una búsqueda por distintos blogs y páginas de aficionados [30] y [31], parece ser que las más empleadas para estos tipos de combates son las de nylon y polipropileno, y buscando en fabricantes se puede obtener que para un diámetro de 40 mm (exigido por las federaciones), la resistencia a rotura de una cuerda de nylon está en 200 KN [60] con un peso de 63Kg/100m.



Figura 25. Ejemplo de proveedor para artículos de cuadrilátero [55]

Como se explicó anteriormente (ver Apartado 2.1), este material también supone un problema a la hora de realizar los análisis, ya que presenta propiedades no lineales que impiden su estudio junto con elementos de propiedades lineales. Por tanto, sustituir dicho elemento por sus esfuerzos, permitirá dejar de modelarlo y ensamblarlo (lo que ya de por sí es una labor complicada debido a sus relaciones de posición) y a la vez posibilita realizar análisis más sencillos. Para ello, se sustituirán los efectos de las cuerdas en los postes.

El siguiente paso debe ser aclarar la forma en que las cuerdas van unidas al poste. Los postes llevan soldadas unas lengüetas a las que mediante un gancho, se une un tensor. Dichos tensores se componen de dos ganchos roscados (machos) que mediante una varilla (hembra) consigue dar mayor o menor distancia con la que tensar más o menos la cuerda.



Figura 26. Tensor para cuerdas de cuadrilátero [56]

Al otro lado del tensor, también acabado en gancho, se une la cuerda de manera que una vez tensada, cuerda y tensor quedan paralelos al suelo. También es importante señalar que dicha cuerda es un único lazo que rodea a todo el cuadrilátero por altura, ya que sabiendo que la longitud de la cuerda será de 24,4 m. se puede calcular el peso que corresponderá a cada poste por cuerda. Esto será de 15,4 Kg/cuerda.



Figura 27. Detalle de un conjunto tensor-cuerdas [56]

Como todo esto además ha de ir acolchado y los mismos tensores pesan, se supondrá que por cada unión del poste habrá ligado un peso muerto de 200N (20 Kg). Observando la siguiente figura:

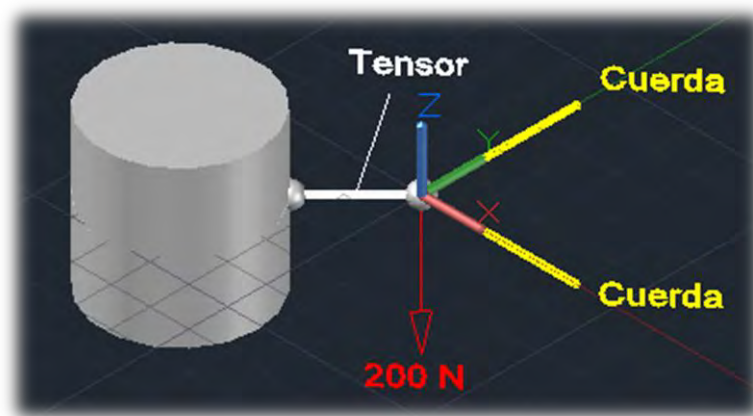


Figura 28. Esquema de la unión de las cuerdas con el tensor

A primera vista se podría pensar que el tensor, al tener una unión con el poste y las cuerdas equivalente a una rótula, no transmite esfuerzo alguno al poste ya que actúa como un cable (solo transmite esfuerzos normales a este), y por tanto el peso de las cuerdas es despreciable. Sin embargo, esto que parece el estado en el que se encuentran las cuerdas en un combate es erróneo ya que no es un sistema estable.

La realidad es que el peso tirará del tensor para abajo, pero al estar este enganchado en su otro extremo, descenderá formando una circunferencia. Las cuerdas a su vez se verán obligadas a estirarse y serán estas las que opongan una resistencia al tensor que hará encontrar el equilibrio. Todo esto se describe gráficamente a continuación:

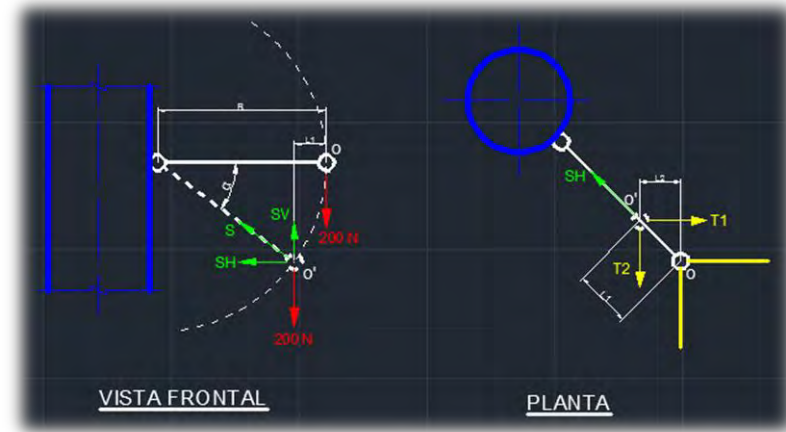


Figura 29. Descomposición de fuerzas

Por lo tanto:

$$P = 200 \text{ N}$$

$$A = 40 \text{ mm}^2 \text{ (Obtenido del apartado 1.1.4)}$$

$$E = 285 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 \text{ (Obtenido del apartado 1.1.2.4)}$$

$$L = 3,05 \text{ m}$$

$$R = 0,85 \text{ m}$$

$$T_1 = T_2$$

$$S_V = S \cdot \sin \alpha = 200 \text{ N}$$

$$S_H = 2 \cdot T_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = S \cdot \cos \alpha = 200 \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$T_1 = 100 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \quad (1)$$

Trigonométricamente se puede obtener:

$$R = R \cdot \cos \alpha + L_1 \implies L_1 = R \cdot (1 - \cos \alpha)$$

$$L_2 = L_1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = R \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (2)$$



Y puesto que:

$$\frac{F}{A} = E * \frac{\Delta L}{L} \quad (3)$$

Sustituyendo (1) y (2) en (3) se obtiene:

$$\frac{100 * \sqrt{2} * \cos \alpha}{40 * 10^{-6} * \sin \alpha} = 285 * 10^7 * \frac{0,85 * (1 - \cos \alpha) * \sqrt{2}}{2 * 3,05}$$

$$\frac{100 * \cos \alpha}{40 * 10^{-6} * \sin \alpha} = 39,713 * 10^7 - 39,713 * 10^7 * \cos \alpha$$

$$100 * \cos \alpha + 158,85 * 10^2 * \cos \alpha * \sin \alpha - 158,85 * 10^2 * \sin \alpha = 0$$

Introduciendo dicha fórmula en Matlab, obtenemos el valor del ángulo y, con ello, el de todas las incógnitas. Los resultados son los siguientes:

$$\alpha = 13^\circ$$

$$S = 869 \text{ N}$$

$$S_H = 846 \text{ N}$$

$$L_2 = 16 \text{ mm}$$

$$T_1 = T_2 = 598 \text{ N}$$

De manera que las cuerdas estarán tensadas con un valor mínimo de 598 N y el tensor transmitirá una fuerza de 869N, pero el incremento longitudinal de las cuerdas será de 3,2 cm., lo que empieza a chocar con la idea de mantener una longitud entre tramos de 6,1m. Además, el descenso del punto O será de 20 cm, lo que resulta inaceptable por apreciarse demasiado.

Sin embargo, ya se sabe la tensión mínima para la que el sistema está en equilibrio. Si se impone que el descenso del punto O sea de tan solo 10 mm (algo que sería apenas inapreciable dada la longitud total de la cuerda), los resultados serían los siguientes:

$$\alpha = 0,7^\circ$$

$$S = 17110 \text{ N}$$

$$S_H = 17108 \text{ N}$$

$$S_v = 200,1 \text{ N} \text{ (seguiría en equilibrio)}$$

$$L_2 = 0,04 \text{ mm (deformación inapreciable)}$$

$$T_1 = T_2 = 12090 \text{ N}$$

Sin embargo, si una sola de las cuerdas trasmite 17 KN al poste, el resultado de las 4 puede ser una excesiva sobrecarga sobre este (hay que tener en cuenta que además han de soportar impactos en momentos concretos), por lo que se deberá buscar el equilibrio entre una flecha y una tensión aceptables. Permitiendo una flecha de 50 mm, el resultado visual es un pequeño descenso, nada alarmante. Si además se sube el punto de amarre 50 mm sobre la altura debida, se respetará la normativa y los resultados serán aceptables. Los valores serían:

$$\alpha = 4^\circ$$

$$S = 2839 \text{ N}$$

$$S_H = 2832 \text{ N}$$

$$S_v = 200 \text{ N} \text{ (en equilibrio)}$$

$$L_2 = 1,5 \text{ mm (deformación inapreciable)}$$

$$T_1 = T_2 = 2002 \text{ N}$$

Y por tanto, las alturas a las que se aplicarán serán 1442 mm, 1747mm, 2052 mm. y 2357 mm. (50 mm por encima de las sacadas de las normativas de competición).

Dichas tensiones se obtendrán disminuyendo la longitud inicial de la cuerda cuando se compre (ver Apartado 6.1.4), y serán las recomendadas para su instalación en caso de que alguien lo quiera hacer por libre.

### 3.2. Casos de Estudio:

No existe ningún reglamento que establezca el peso máximo de un combatiente, solo una categoría de Pesos Pesados en la que se entra a partir de 85 Kg. Es por ello necesario estimar cual puede ser el peso máximo de un luchador así como el del árbitro que dirija la velada. Debido a que por regla general, a mayor peso se obtiene una pegada más potente en detrimento de una menor movilidad, se estimará que el peso máximo del combatiente será de 120 Kg. (ya que mayores pesos es más normal verlos en sumo, que no emplea cuadriláteros) y el del árbitro de 90 Kg.

Con ello se obtienen los siguientes casos de estudio:

- a) Caso 1: Todo el cuadrilátero es sometido a una presión de  $1800 \text{ N/m}^2$ . Es un caso en el que se supone que habrá gente por toda la superficie, bien sea trabajando en su montaje, porque no se estén realizando peleas y haya niños jugando, porque se quieran hacer una foto de grupo, etc., suponiendo una densidad de dos personas por metro cuadrado (como se explicó anteriormente, se supondrá que el peso de una persona normal será de 90Kg).

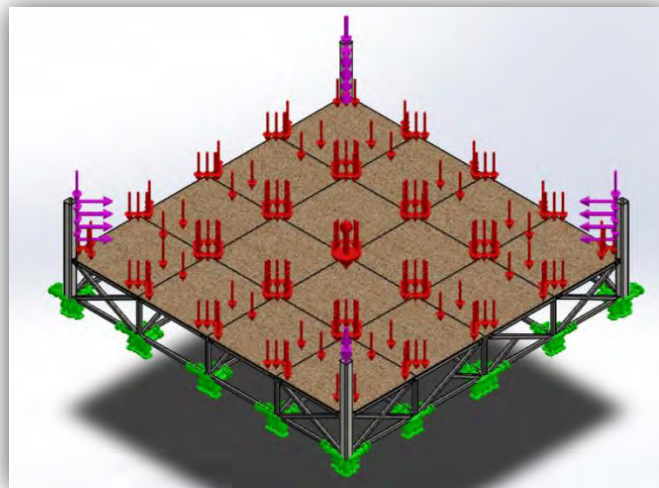


Figura 30. Representación del Caso 1

- b) Caso 2: El cuadrilátero será sometido parcialmente a una presión de  $2700 \text{ N/m}^2$ . Este caso recrea momentos como una gran victoria donde la afición acude a felicitar a su ídolo, amontonándose alrededor de él. Por ello se supone una

concentración de tres personas por metro cuadrado, al estar todos pegados para hacerse un sitio entre la multitud.

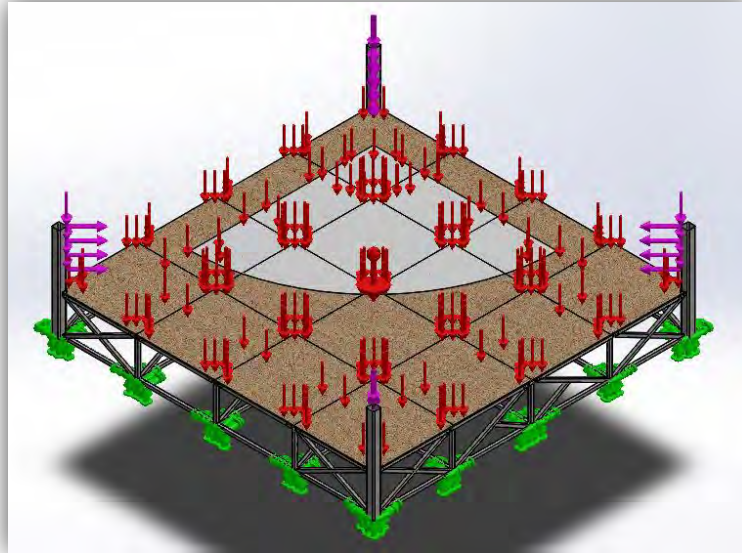


Figura 31. Representación del Caso 2

- c) Caso 3: El cuadrilátero soporta el peso de los dos combatientes de 1200 N cada uno más el árbitro de 900 N en el medio de la estructura. También se aplica una carga distribuida de  $1800 \text{ N/m}^2$  fuera de las cuerdas. Este caso recrea el momento en el que el combate ha terminado y el árbitro junta a los luchadores para declarar un vencedor. Fuera de las cuerdas, aunque no se debiera, pueden encontrarse fotógrafos o prensa para inmortalizar el momento.

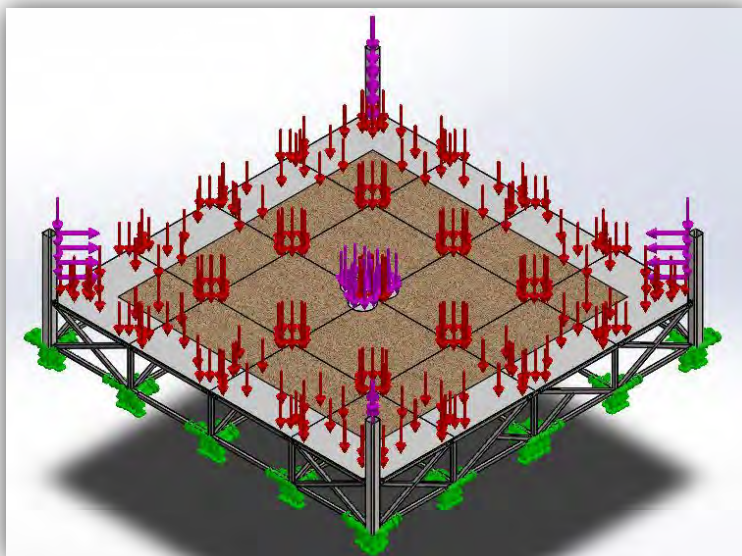


Figura 32. Representación del Caso 3

- d) Caso 4: Se aplican dos fuerzas de 1200 N y otra de 900 N para simular un combate a mitad de desarrollo. Estas se sitúan en la zona del ring más desfavorable.

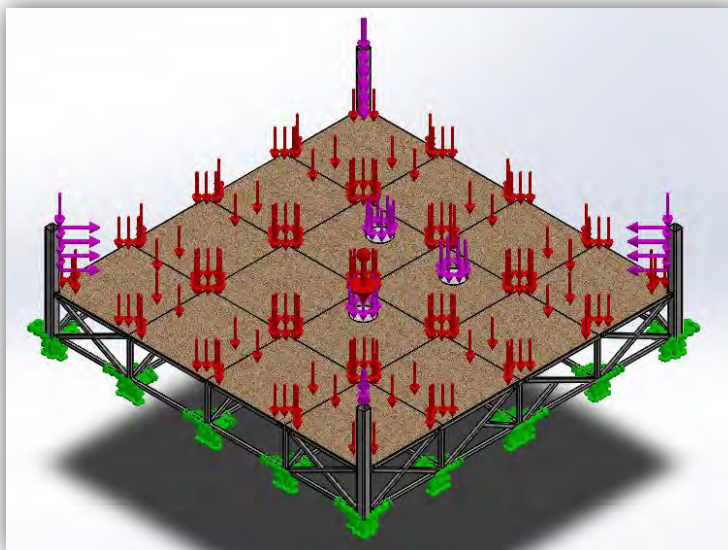


Figura 33. Representación del Caso 4

Para el submodelo con un solo tablón, los casos se reducen solo a dos:

- e) Caso 5: Se aplicarán las mismas cargas que en el Caso 2 por ser el más agresivo de todos.

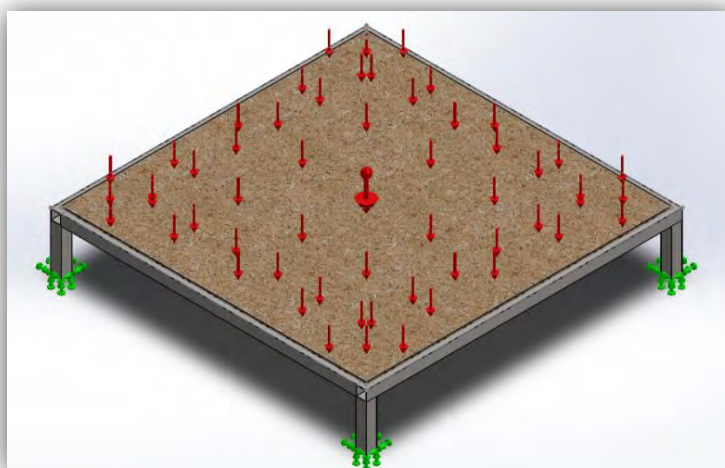


Figura 34. Representación del Caso 5

- f) Caso 6: Se posicionarán dos fuerzas de 1200 N en el centro del tablero por ser donde sufrirá mayores esfuerzos, representando a los dos luchadores agarrados en un *clinch*, lo que los sitúa muy cerca el uno del otro.

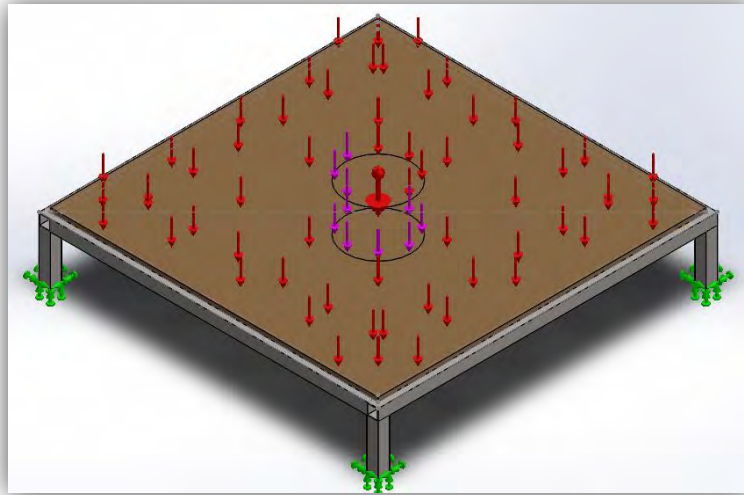


Figura 35. Representación del Caso 6



Figura 36. "Clinch" de boxeo

Todos los casos cuentan además con la presión ejercida por el suelo de caucho, la gravedad y la tensión de las cuerdas en los postes.



---

A continuación se analizarán cada uno de los modelos:

### 3.3. Modelo 1:

Se realizará un cuadrilátero con una estructura en cuadrícula formada por tres columnas y tres filas, separadas de forma equidistante, para obtener de esta manera un reparto homogéneo de pesos y esfuerzos. Se emplearán tableros, que en un principio serán aglomerados por ser los más baratos, con dimensiones cortadas a medida ya que actualmente se realiza de forma gratuita. Dichas dimensiones serán:

- 4 tableros de 1970x1965x10 mm.
- 4 tableros de 1970x1935x10 mm.
- 4 tableros de 1965x1930x10 mm.
- 4 tableros de 1935x1930x10 mm.

#### 3.3.1. Modelo 1.1:

Para este primer diseño, los elementos encargados de soportar el peso y dar la mayor parte de la rigidez serán los tramos de estructura en la dirección X, tanto interiores como exteriores, y se reforzarán los tramos unidos a los postes en dirección Z para hacerlos más rígidos. El resto de estructura se compondrá bien de perfiles verticales o de perfiles horizontales en la dirección Z cuya función será unir las distintas partes de la estructura y servir de apoyo a los tableros.

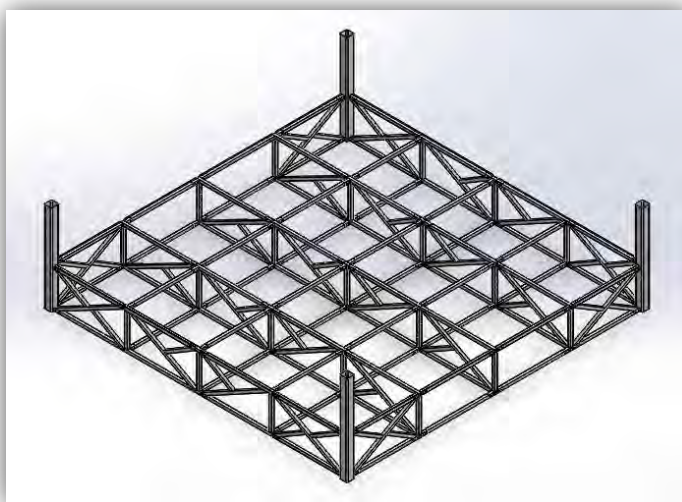


Figura 37. Estructura del cuadrilátero modelo 1.1

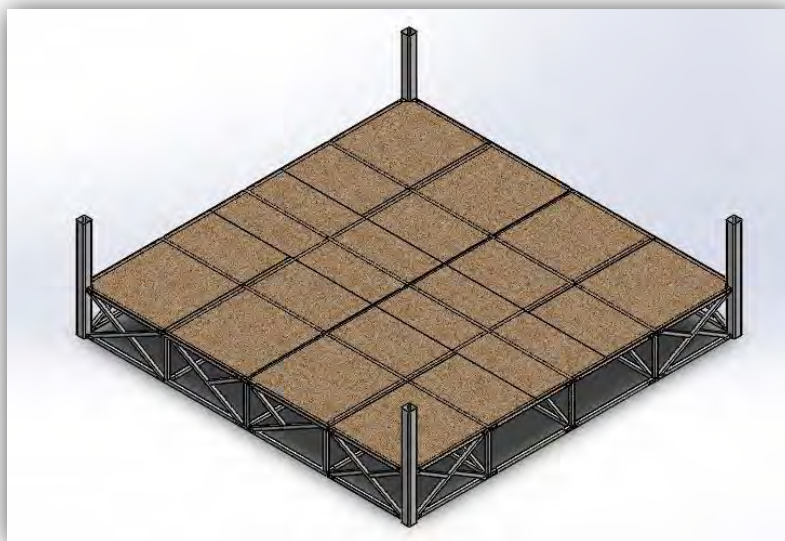


Figura 38. Cuadrilátero completo modelo 1.1



Figura 39. Frontal modelo 1.1

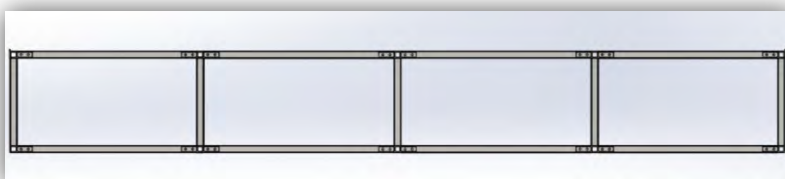


Figura 40. Sección frontal modelo 1.1



Figura 41. Lateral izquierdo modelo 1.1



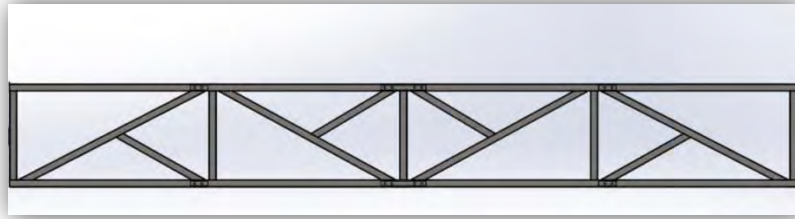


Figura 42. Sección izquierda modelo 1.1

### 3.3.1.1. Análisis del tablero:

Existen 4 dimensiones distintas para los tableros, aunque todas muy semejantes, por lo que se analizará un modelo con un área de 2000x2000 mm (un poco mayor a cualquiera de las otras) para así asegurarse que si cumple esta, cumplirán todas las demás. Se empezará analizando un tablero aglomerado de 10 mm de espesor:

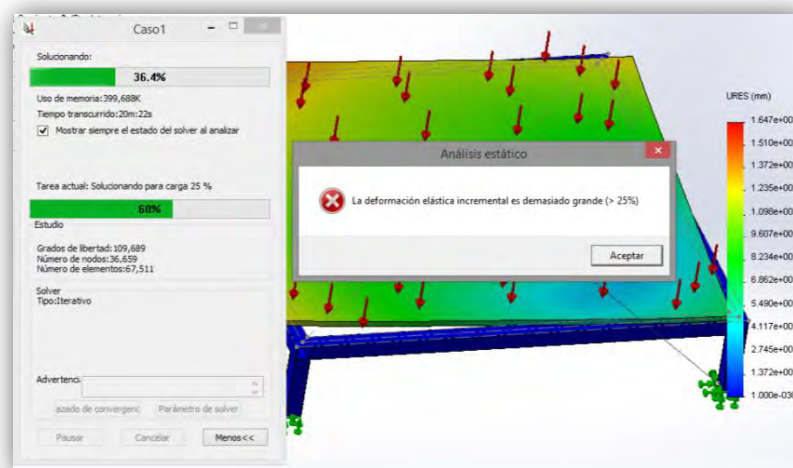


Figura 43. Resultado del análisis del tablero aglomerado

El primer estudio ha fallado incluso antes de terminar los cálculos por una excesiva flecha y rotura del material. Este análisis, además, reconfiguró de forma interna las propiedades del estudio para que se realizara para Grandes Desplazamientos (opción que permite afinar los resultados de un cálculo si se considera que las deformaciones serán superiores a las decenas de metro). Deja claro por tanto que no es viable.

Se realizará un nuevo estudio sustituyendo el material al MDF:

	CASO 5
$\sigma_{\text{Tablero}}$ :	31,9 MPa
$\delta_{\text{max}}$ :	510 mm

Tabla 1. Resultados para un tablero MDF de 10 mm

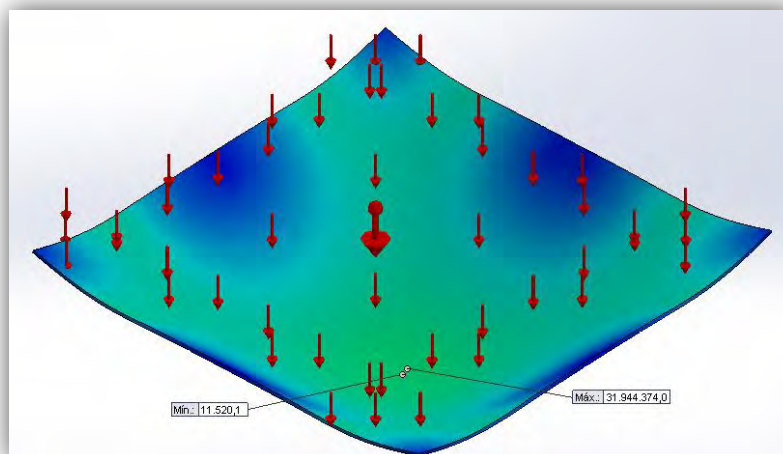


Figura 44. Tensiones en el tablero para un material MDF

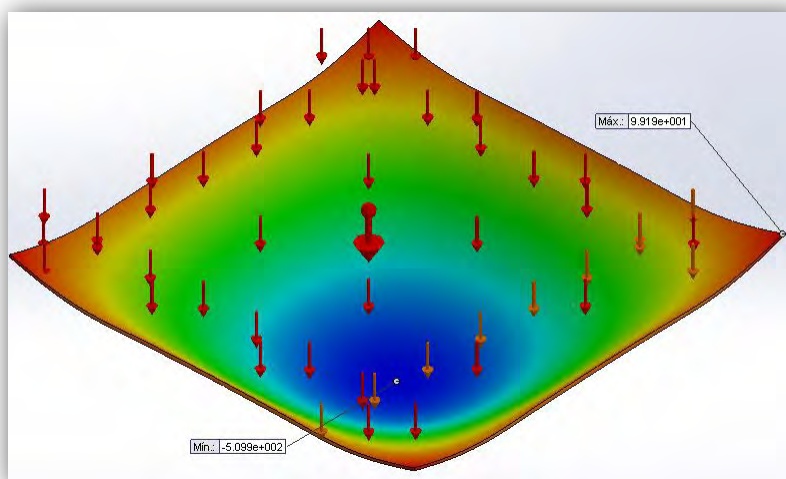


Figura 45. Deformaciones en el tablero para un material MDF

Como se puede observar, la tensión máxima está por encima del límite y los desplazamientos son enormes, tanto lo que descende en el centro del tablero (510 mm) como lo que se levantan las esquinas (100 mm). Por tanto habrá que reducir el área que quede sin apoyar para evitar este problema.

Como solución, se hará pasar otro perfil con las mismas dimensiones que los anteriores por el centro de la estructura, para así impedir deformaciones en el que es el punto más crítico.

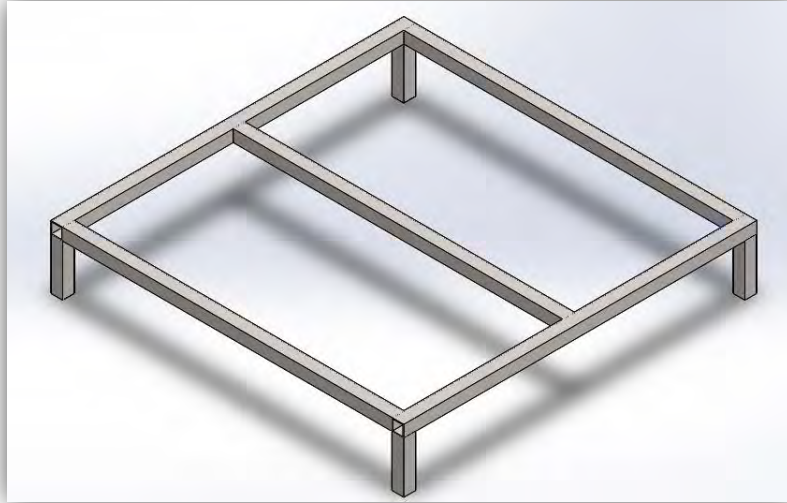


Figura 46. Estructura base modificada

Los resultados obtenidos son los siguientes:

	CASO 5
$\sigma_{\text{Tablero}}$ :	3,4 MPa
$\delta_{\text{max}}$ :	8 mm

Tabla 2. Resultados para un tablero MDF con apoyado simple

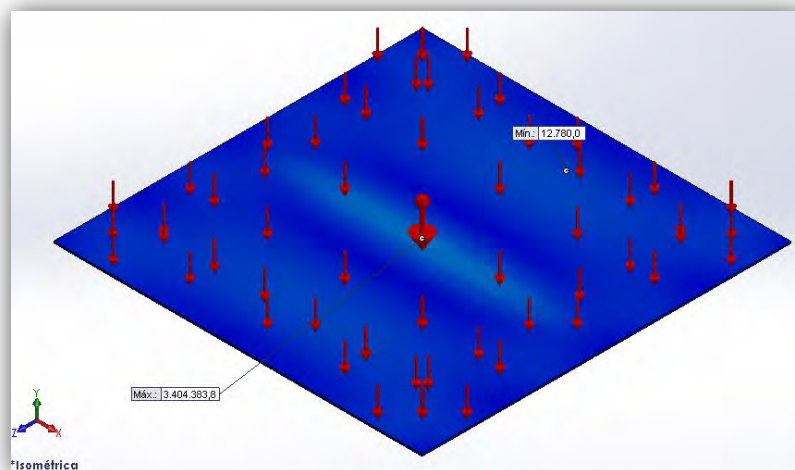


Figura 47. Tensiones en el tablero para la base modificada

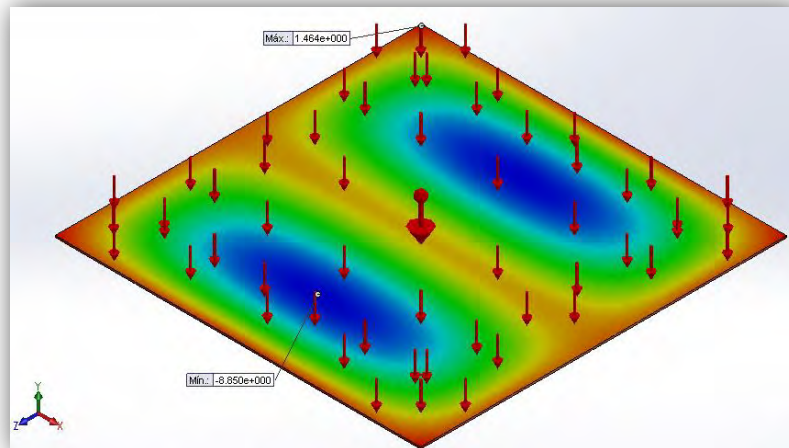


Figura 48. Deformaciones en el tablero para la base modificada

Mediante dicho cambio se han conseguido grandes mejoras. La tensión máxima ya está dentro de los márgenes con un valor muy por debajo de su límite (3,4 MPa) y las deformaciones se han reducido significativamente. Los puntos de máximo descenso siguen siendo demasiado elevados (8,9 mm totales de los cuales 0,8 mm son de la estructura) pero las esquinas ya solo se levantan 1,5 mm (sin sumarle la deformación de la estructura), lo que empieza a hacer viable la hipótesis que se usará más adelante de que tableros y estructura tienen una unión rígida.

Se aumentará el espesor del tablero a 24 mm para ver si se alcanza con ellos la rigidez necesaria:

	CASO 5	CASO 6
$\sigma_{\text{Tablero}}$ :	2,4 MPa	1,2 MPa
$\delta_{\text{max}}$ :	3 mm	1 mm
CS:	9	15
Peso:	53 Kg	

Tabla 3. Resultados para un tablero MDF de 24 mm

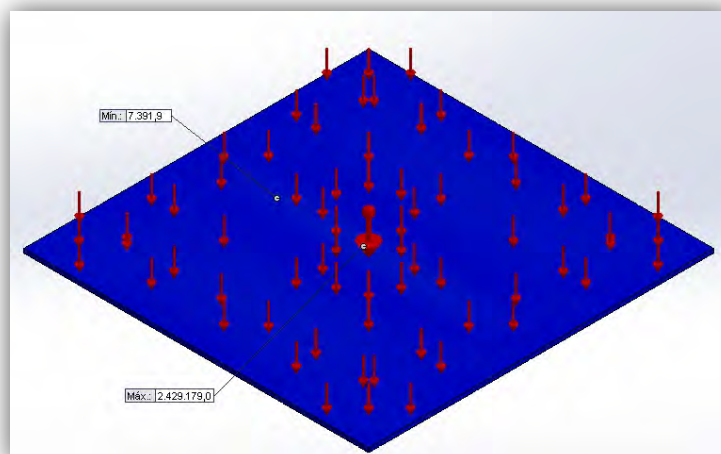


Figura 49. Tensiones en el tablero Caso 5 con espesor de 24 mm

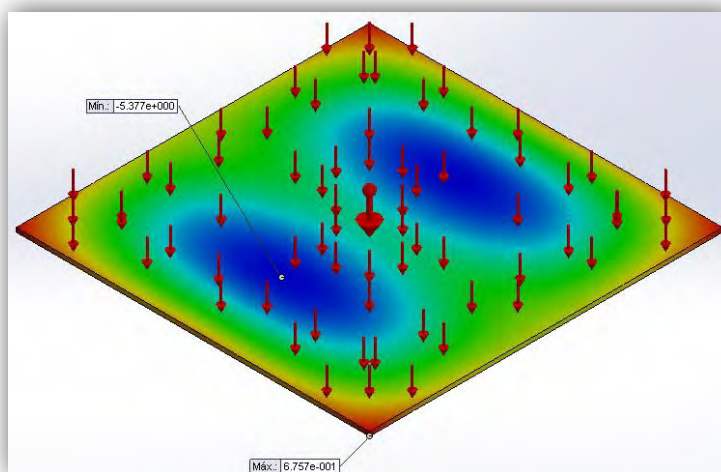


Figura 50. Deformaciones en el tablero Caso 5 con espesor de 24 mm

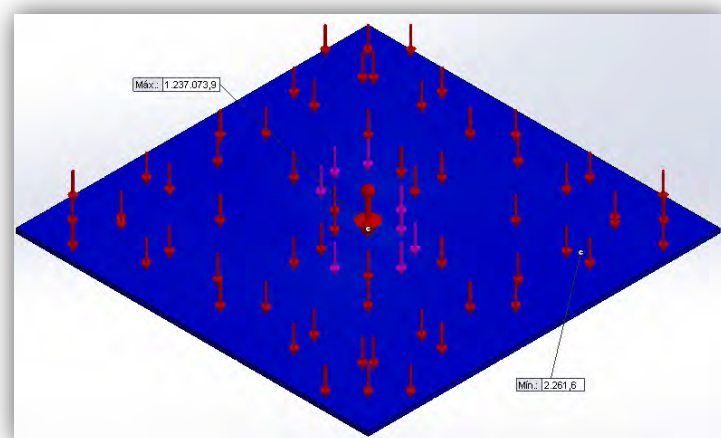


Figura 51. Tensiones en el tablero Caso 6 con espesor de 24 mm



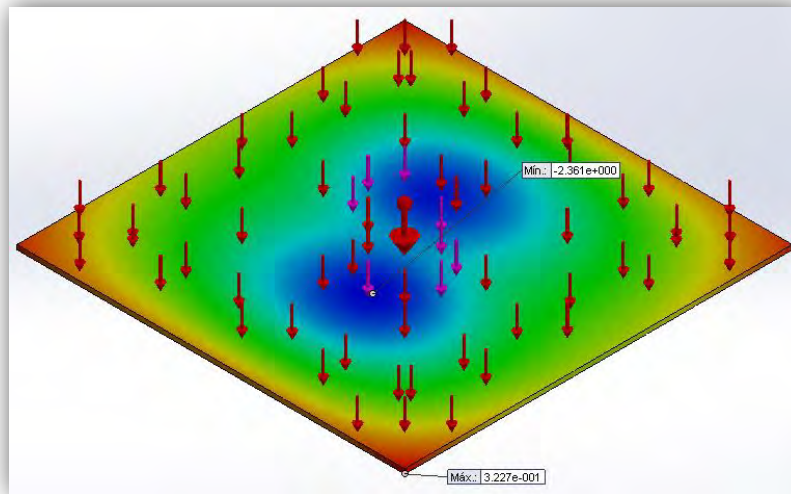


Figura 52. Deformaciones en el tablero Caso 6 con espesor de 24 mm

Esta ya es una solución viable. Para el Caso 5 la tensión máxima ha descendido incluso un poco más (2,4 MPa) y las deformaciones ya sí son aceptables (las esquinas se levantan solo 0,7 mm, siendo muy poco el área sin contacto con la estructura y de los 5,4 mm que desciende, unos 2 mm son de la estructura).

Para el Caso 6, los resultados son incluso mejores ya que tanto cargas como desplazamientos se reducen del orden de la mitad con respecto al Caso 5. El Coeficiente de Seguridad es de 9, lo que da un buen margen para las cargas dinámicas y para el peso de 53 Kg, es factible el llevarlo entre dos (aunque no ha de superar los 60 Kg).

Por tanto, será necesario modificar la estructura inicial para que quede como el de este submodelo y así los resultados sean semejantes.

### 3.3.1.2. *Análisis de la estructura:*

Tras las modificaciones llevadas a cabo, el modelo queda así:

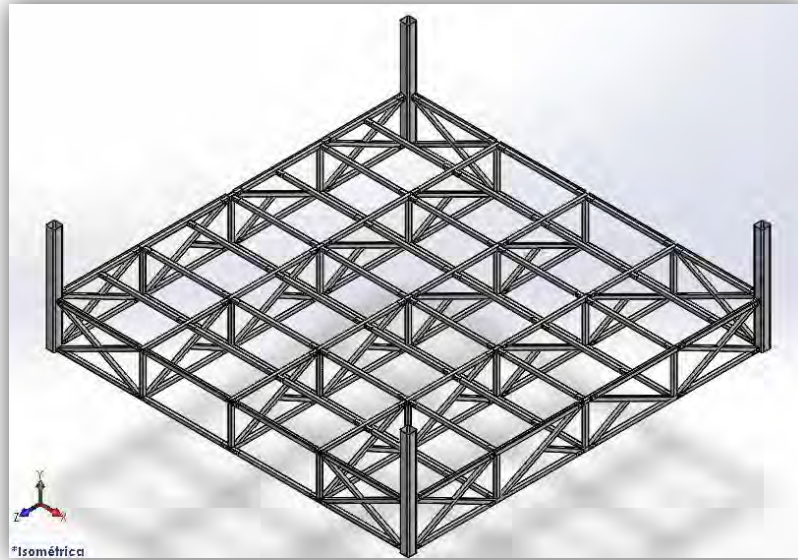


Figura 53. Estructura del cuadrilátero modelo 1.1 modificada

Las propiedades físicas son:

<b>Peso Total:</b>	<b>4147 Kg</b>
<b>Cantidades:</b>	
Perfil 70x70x5	271 m
Perfil 60x60x5	26 m
Perfil 200x200x5	9 m
Pletina	29 m

Tabla 4. Propiedades físicas del modelo 1.1

Y los resultados obtenidos:

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
$\sigma_{Von Mises}$ :	53,7 MPa	62,1 MPa	59,0 MPa	60,1 MPa
$\delta_{max estruc}$ :	0,6 mm	0.3 mm	0.3 mm	0.2 mm
CS:	7,6	6,6	7	6,8

Tabla 5. Resultados del modelo 1.1

A la vista de los resultados se puede apreciar que los casos influyen poco en el valor de las tensiones, ya que todos obtienen un nivel semejante. Observando las figuras:

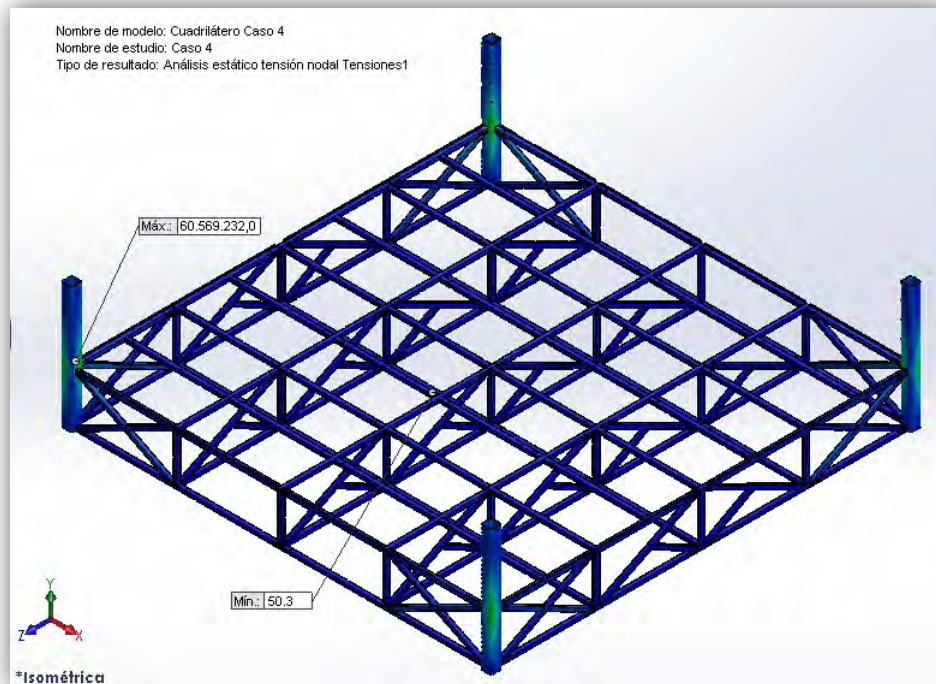


Figura 54. Caso genérico de tensiones en la estructura modelo 1.1

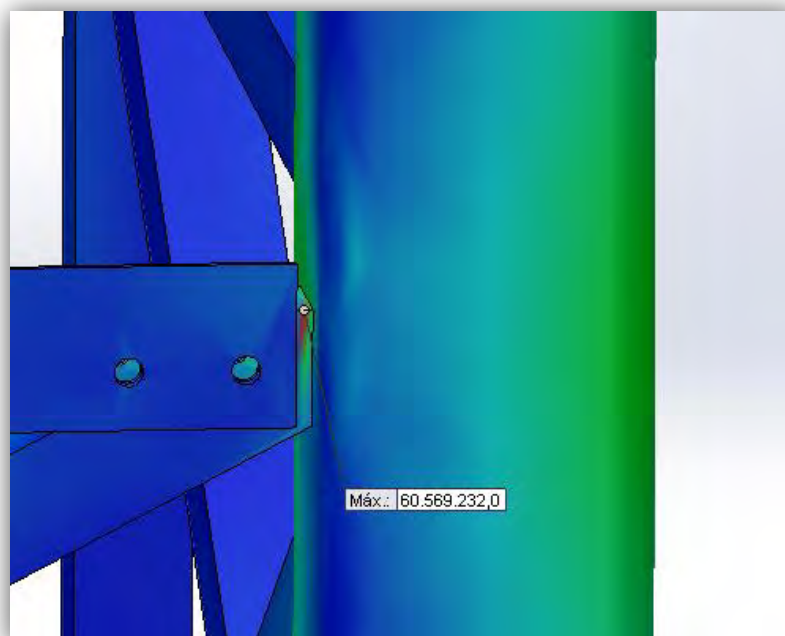


Figura 55. Caso genérico de concentrador de tensiones modelo 1.1



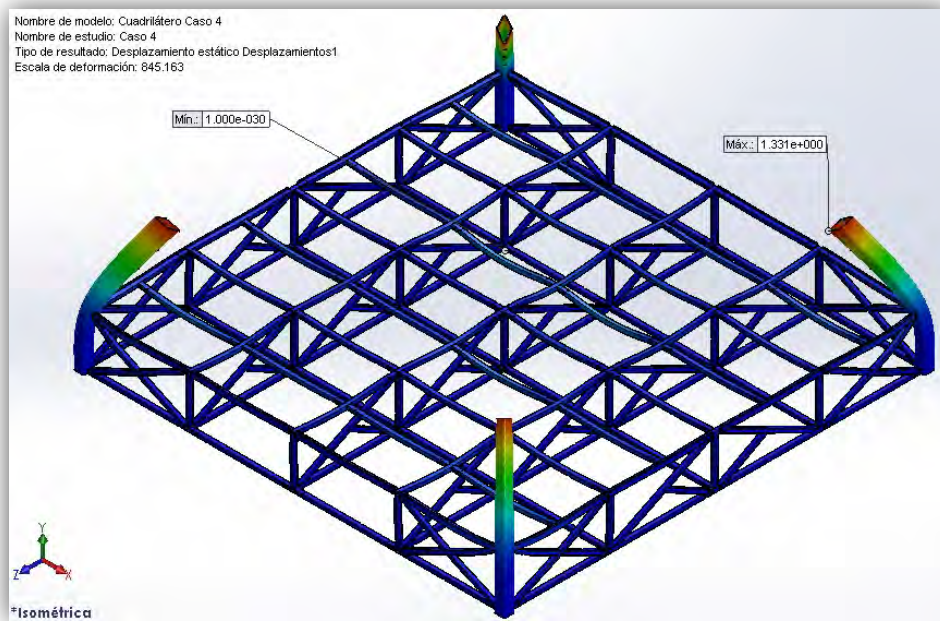


Figura 56. Deformada genérica modelo 1.1

Queda patente que el factor que más influye es la tensión de las cuerdas, indistintamente del caso en el que se encuentre. Para todos los casos, los resultados son muy semejantes a las tres figuras mostradas anteriormente (tal vez haya más diferencias en las deformaciones); en la figura 54 se ve claramente que los elementos más cargados son los postes debido a la flexión que produce la tensión en las cuerdas, en especial en los tramos donde está unido al resto de la estructura, siendo el punto de máxima tensión (ver figura 55) la unión superior del poste con el siguiente componente. Se forma en el pequeño hueco que ha sido dejado para proteger la soldadura, lo que reduce el espesor del resto del ensamblaje (solo cuenta con el grosor de un perfil). Con ello se obtiene un posible punto del que extraer la máxima tensión con la que diseñar las soldaduras en un futuro (ver apartado 5.1) y también se deduce que las aspas colocadas en los elementos colindantes a los postes realmente ayudan a absorber tensiones y dan firmeza.

De la figura 56 se desprende que los elementos que más se deforman son los postes y que estos influirán en su entorno cercano. Además la flexión hará que los desplazamientos tengan un sentido más horizontal que vertical.

Sin embargo resulta imposible sacar deducciones del diseño del cuadrilátero en conjunto, ya que la diferencia entre las tensiones producidas por las cuerdas es tan grande con respecto al del caso de estudio, que la escala de colores da la misma

tonalidad en todo el cuadrilátero. Por tanto, se volverán a estudiar los casos sin tener en cuenta el efecto de las cuerdas para con ello obtener referencias del comportamiento de la estructura con el que luego poder comparar entre modelos.

Tales resultados serían:

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
$\sigma_{Von Mises}$ :	<b>24,1 MPa</b>	<b>16,0 MPa</b>	<b>4,5 MPa</b>	<b>8,8 MPa</b>
$\sigma_{X max}$	-16,4 MPa	-12,2 MPa	-3.6 MPa	-6.3 MPa
$\sigma_{Z max}$	-29,4 MPa	-12,7 MPa	-6.1 MPa	-8.7 MPa
$\sigma_{Y max}$	-23,9 MPa	-15,3 MPa	-5.8 MPa	5.9 MPa
$\tau_{XY max}$	9,8 MPa	4,8 MPa	2.2 MPa	-2.3 MPa
$\tau_{XZ max}$	-7,7 MPa	4,7 MPa	1.7 MPa	-2.5 MPa
$\tau_{YZ max}$	12,0 MPa	8,8 MPa	2.3 MPa	-5.0 MPa
$\delta_{max estruc}$ :	<b>0,6 mm</b>	<b>0.3 mm</b>	<b>0.1 mm</b>	<b>0.23 mm</b>
$\delta_{X max}$	0.06 mm	0.03 mm	0.01 mm	0.01 mm
$\delta_{Z max}$	0.01 mm	0.04 mm	0.02 mm	0.02 mm
$\delta_{Y max}$	0,60 mm	0.33 mm	0.1 mm	0.23 mm

Tabla 6. Resultados del modelo 1.1 sin el efecto de las cuerdas

A continuación se muestran las distintas imágenes justificativas a dicha tabla:

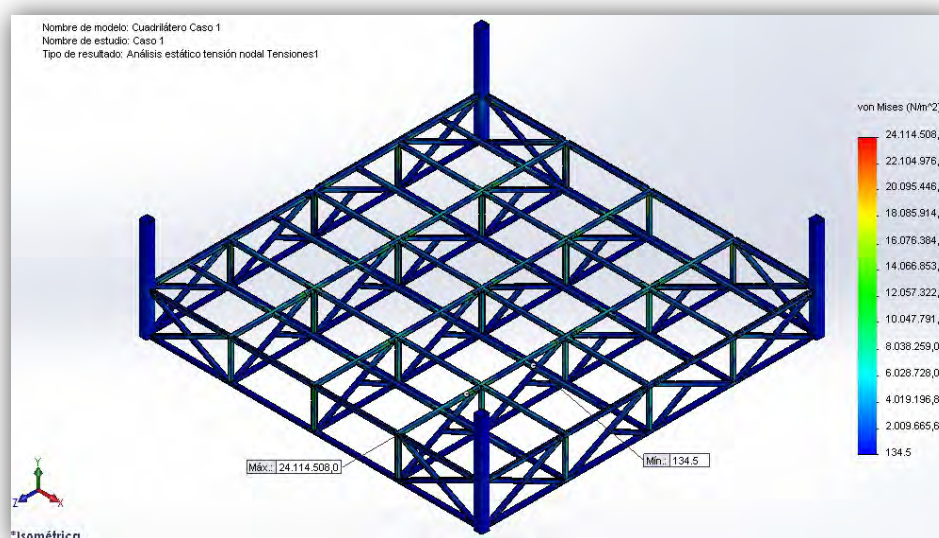


Figura 57. Tensión de Von Mises Caso 1 modelo 1.1

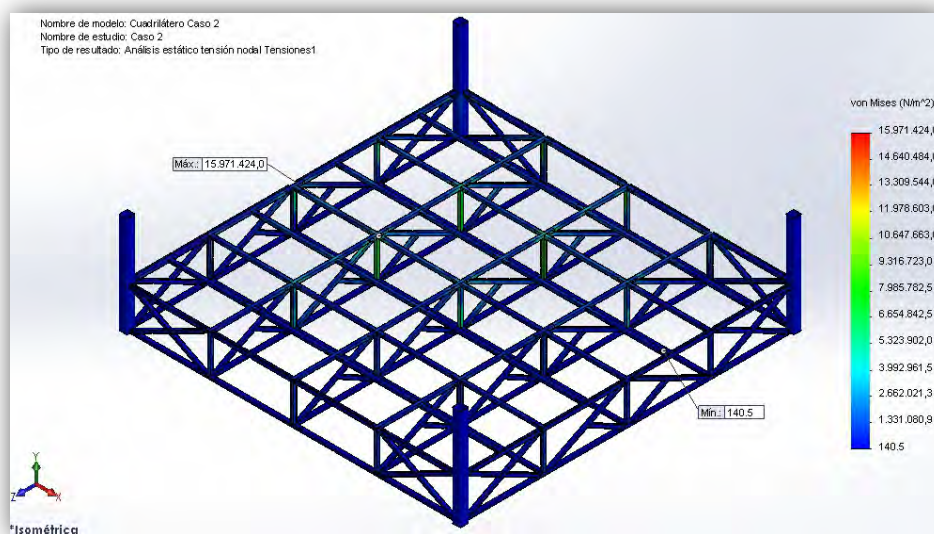


Figura 58. Tensión de Von Mises Caso 2 modelo 1.1

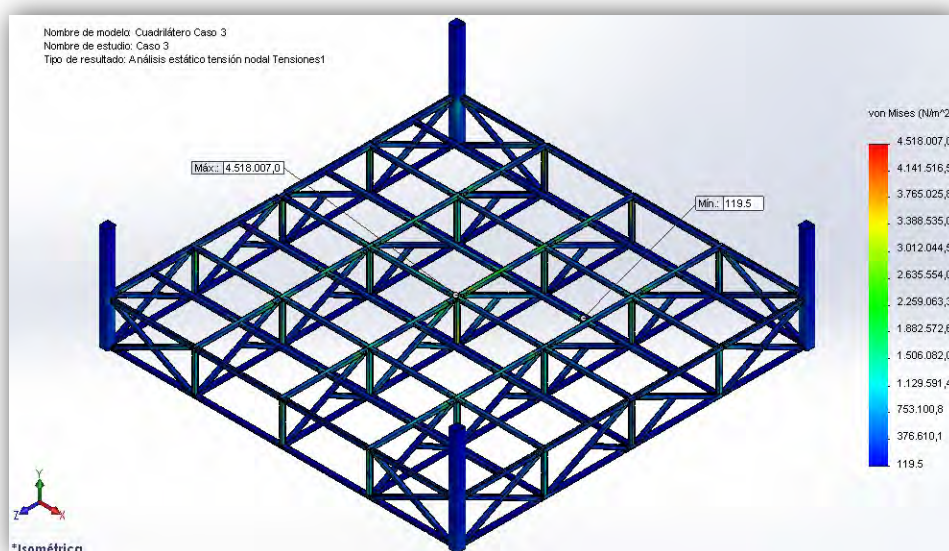


Figura 59. Tensión de Von Mises Caso 3 modelo 1.1



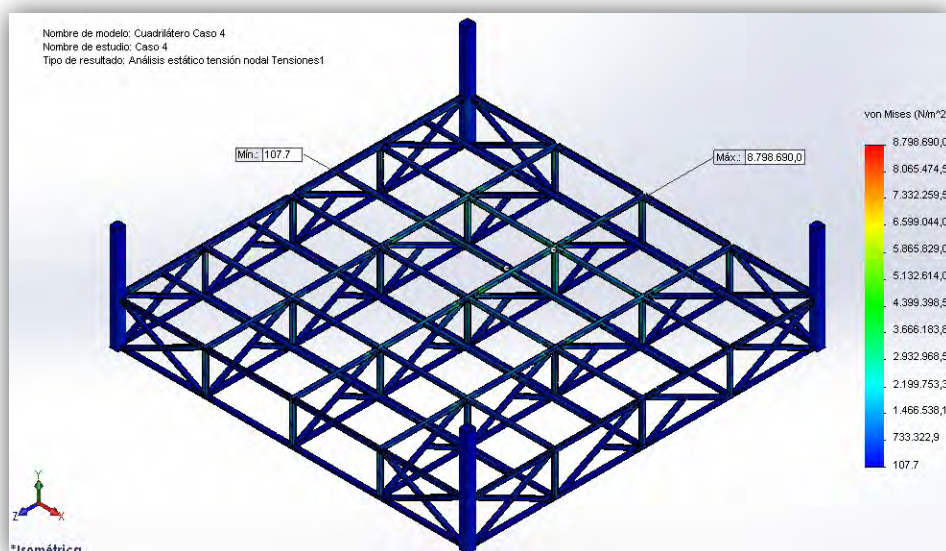


Figura 60. Tensión de Von Mises Caso 4 modelo 1.1

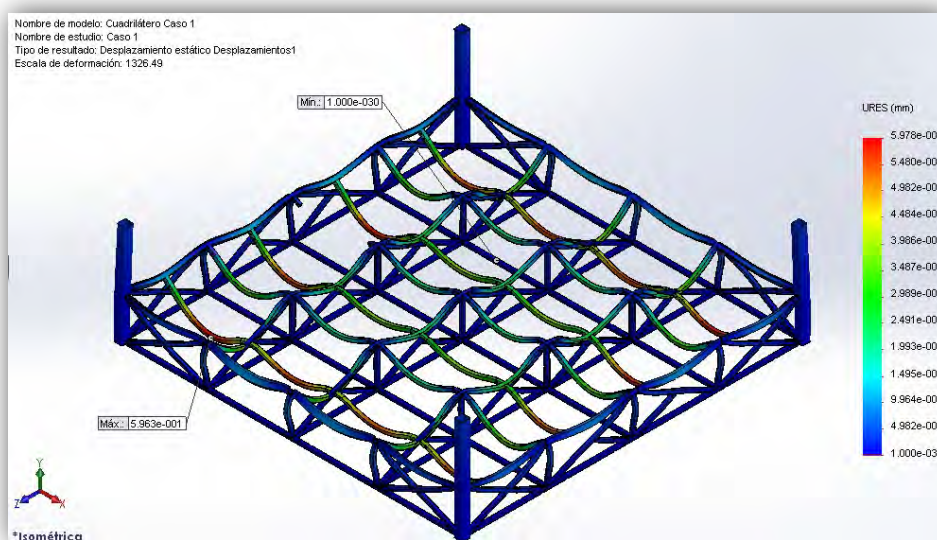


Figura 61. Deformación del cuadrilátero Caso 1 modelo 1.1

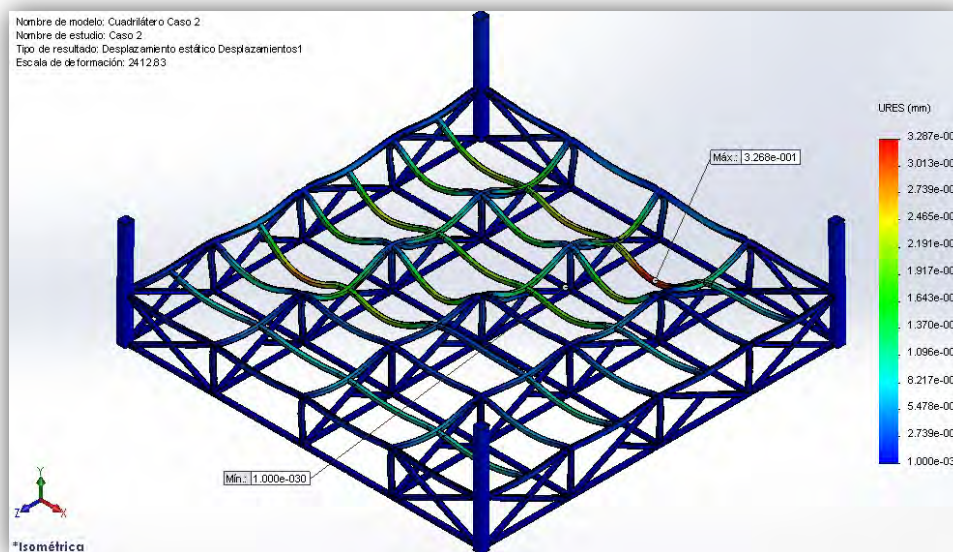


Figura 62. Deformación del cuadrilátero Caso 2 modelo 1.1

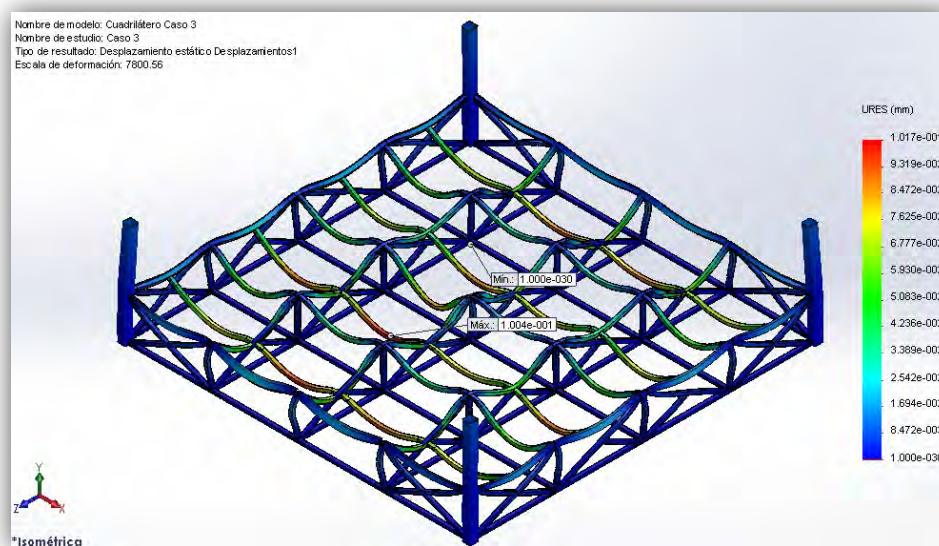


Figura 63. Deformación del cuadrilátero Caso 3 modelo 1.1

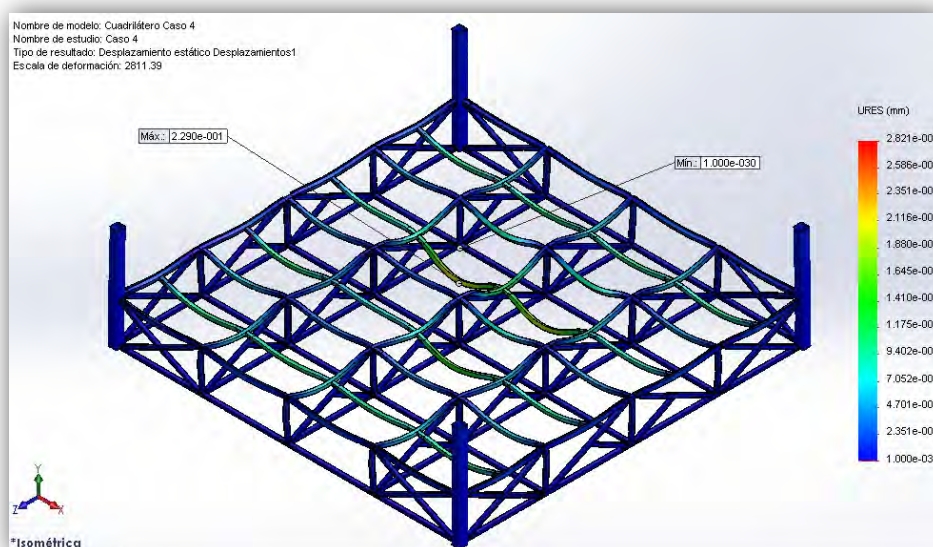


Figura 64. Deformación del cuadrilátero Caso 4 modelo 1.1

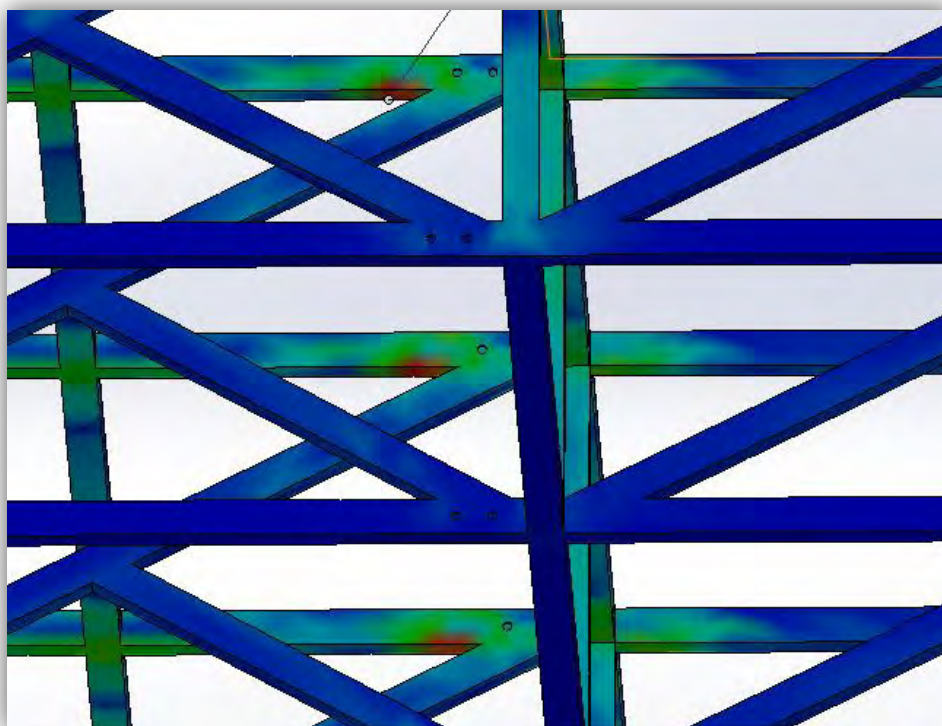


Figura 65. Localización de la máxima tensión Caso 1 modelo 1.1



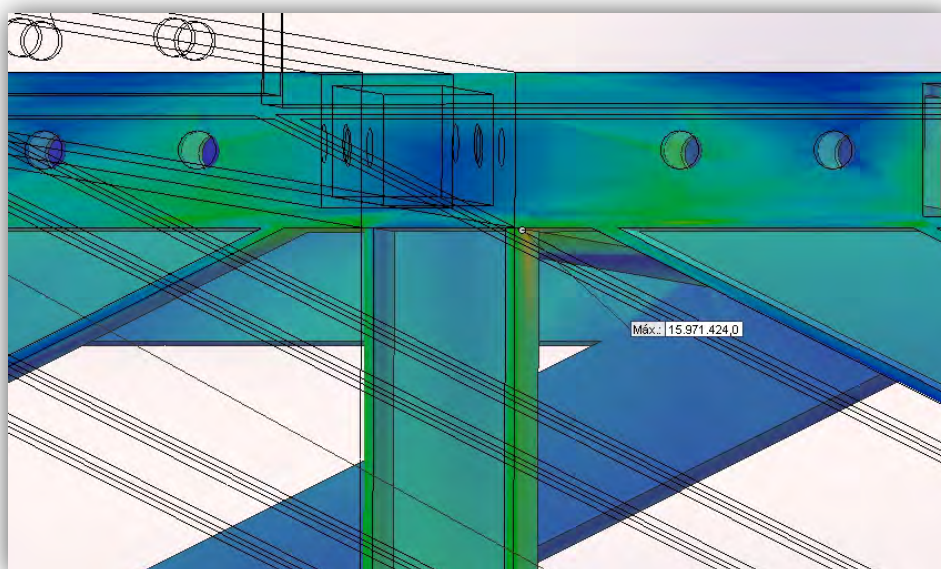


Figura 66. Localización de la máxima tensión Caso 2 modelo 1.1

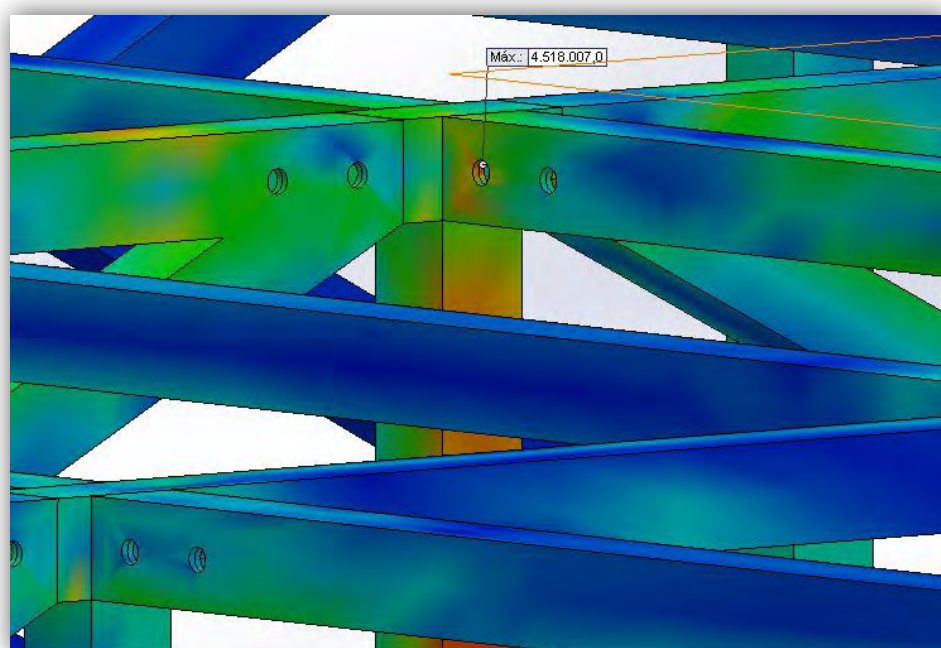


Figura 67. Localización de la máxima tensión Caso 3 modelo 1.1

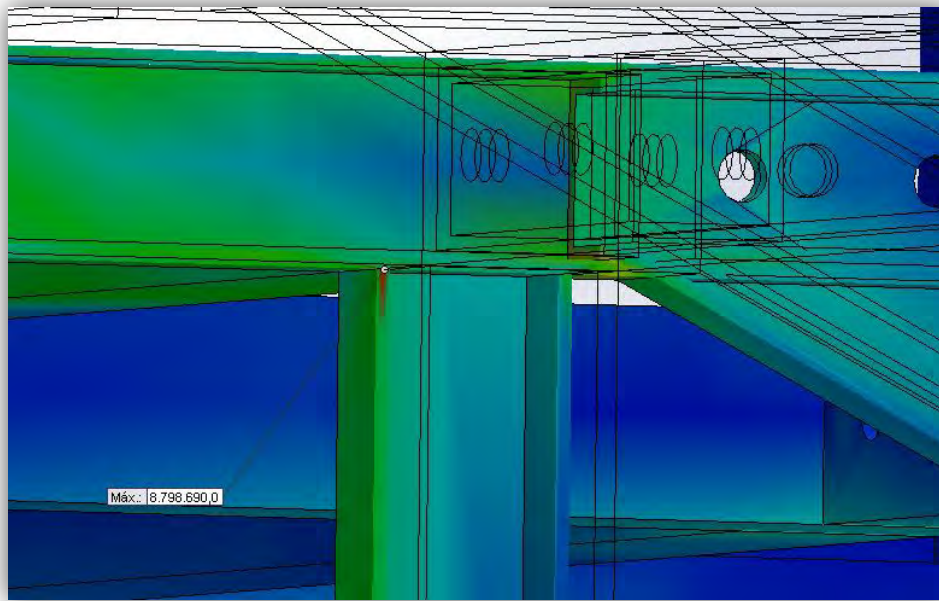


Figura 68. Localización de la máxima tensión Caso 4 modelo 1.1

A la vista de los resultados se comprueba que los distintos casos hacen trabajar relativamente poco a la estructura (el coeficiente de seguridad mínimo es de 6,6). Los perfiles más afectados son los verticales, en especial aquellos que se encuentran en el interior de la estructura, debido a la gran rigidez que presentan al ser el punto de unión entre cuatro perfiles horizontales y uno inclinado. Los perfiles verticales de la periferia sufrirán un ligero pandeo debido a los desplazamientos originados en el resto de la estructura.

Los perfiles horizontales, debido a la flexión, se verán más cargados en los extremos de unión y los inclinados actuarán relativamente poco, solo la parte superior unida a algún perfil vertical. Esto hace que al final, las zonas más cargadas sean las crucetas, ya que además los perfiles inclinados provocan una mayor concentración de las tensiones en las uniones con perfiles horizontales.

En cuanto a las deformaciones, la gran rigidez que hace a los perfiles verticales estar más cargados, también ayudará a que en ellos no se aprecien casi desplazamientos, lo que otorga estabilidad a la estructura. Solo los perfiles horizontales, en especial los que están en dirección X, sufrirán mayores desplazamientos, pero siguen sin ser apreciables. Es reseñable que los desplazamientos sí son muy semejantes a los del modelo real cargado, no como las tensiones.



Con todo esto, se intentará optimizar la estructura reduciendo material y teniendo en cuenta lo siguiente: no se pueden usar perfiles de menor área ya que entonces los tableros carecerían de suficiente apoyo; los perfiles inclinados apenas influyen (salvo los cercanos a los postes), pero se emplean por ser necesarios para dar estabilidad a los componentes sin montar y para absorber posibles esfuerzos perpendiculares a los tableros en el análisis dinámico; las zonas que al final se verán cargadas serán las esquinas debido a los postes y la central.

Esto deriva en los siguientes modelos:

### 3.3.2. Modelo 1.2:

Para esta segunda versión del modelo 1 se intentará reducir la cantidad de acero, puesto que se vio que había componentes que apenas estaban trabajando (coeficiente de seguridad superior a 6) y se comprobará si dicho cambio afecta en la estabilidad de la estructura. Para extraer acero se recurrirá a los perfiles inclinados de los componentes en dirección X pero habrá que tener en cuenta que esto disminuirá la rigidez del conjunto ante impactos, por lo que se reforzará ligeramente el tramo central de la estructura en dirección Z. Puesto que se vio que de los perfiles inclinados de la parte exterior, solo influían los unidos a los postes, se eliminarán los centrales.

Esto nos deja el siguiente modelo:

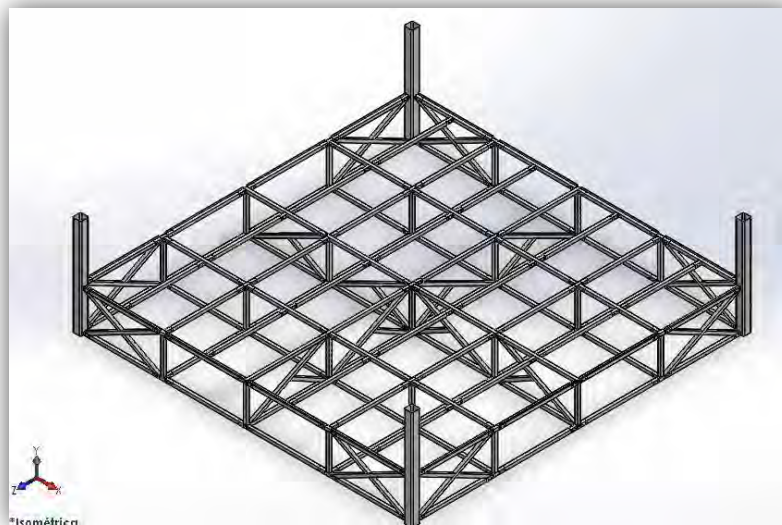


Figura 69. Estructura del cuadrilátero del modelo 1.2

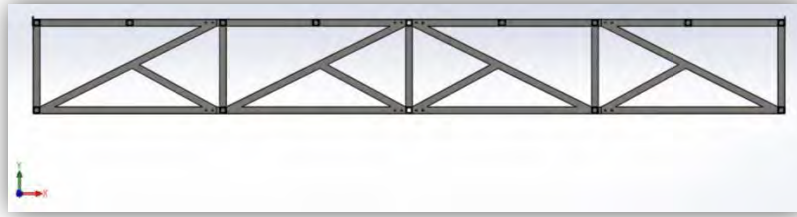


Figura 70. Sección Interior del modelo 1.2



Figura 71. Lateral exterior del modelo 1.2

#### 3.3.2.1. *Análisis del tablero:*

Los resultados obtenidos para el modelo 1.1 son los mismos que para este.

#### 3.3.2.2. *Análisis de la estructura:*

Las propiedades físicas para este modelo son:

<b><i>Peso Total:</i></b>	<b>3958 Kg</b>
<b><i>Cantidades:</i></b>	
<i>Perfil 70x70x5</i>	249 m
<i>Perfil 60x60x5</i>	32 m
<i>Perfil 200x200x5</i>	9 m
<i>Pletina</i>	29 m

Tabla 7. Propiedades físicas del modelo 1.2

Y los resultados obtenidos:

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
$\sigma_{Von Mises}$ :	65,4 MPa	63,7 MPa	55,5 MPa	62,5 MPa
$\delta_{max\ estruct}$ :	0,7 mm	0.3 mm	0.5 mm	0.3 mm
CS:	6,3	6,4	7,4	6,6

Tabla 8. Resultados del modelo 1.2

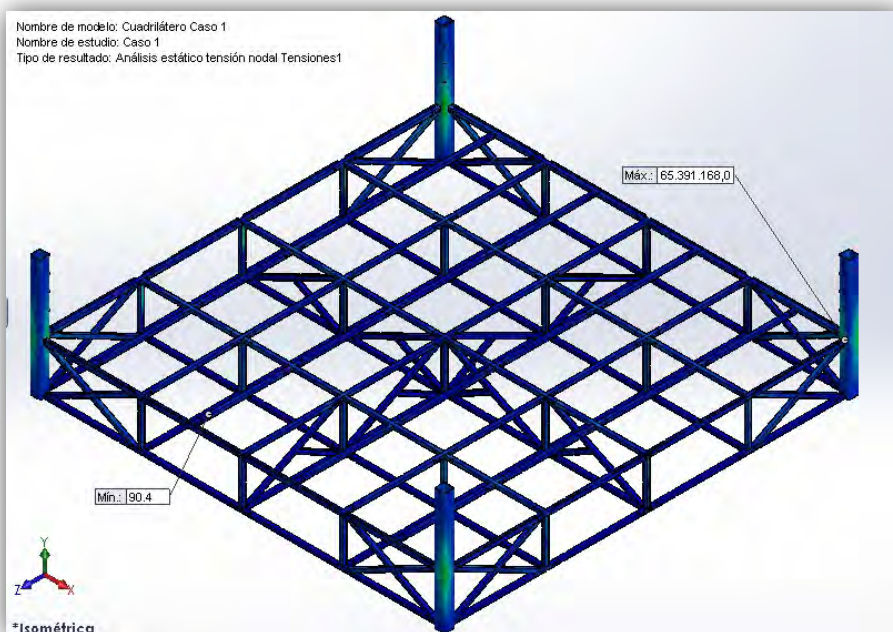


Figura 72. Caso genérico de tensiones en la estructura modelo 1.2

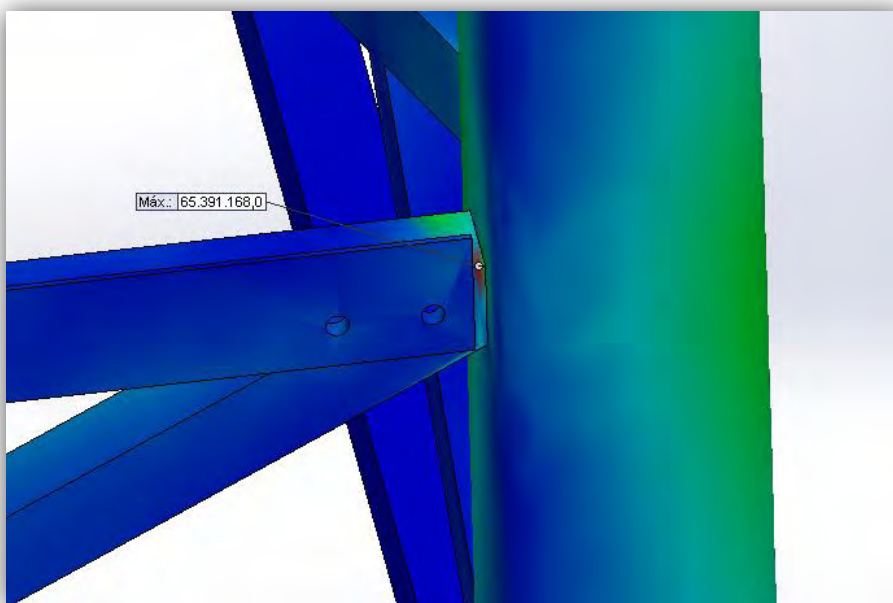


Figura 73. Caso genérico de concentrador de tensiones modelo 1.2

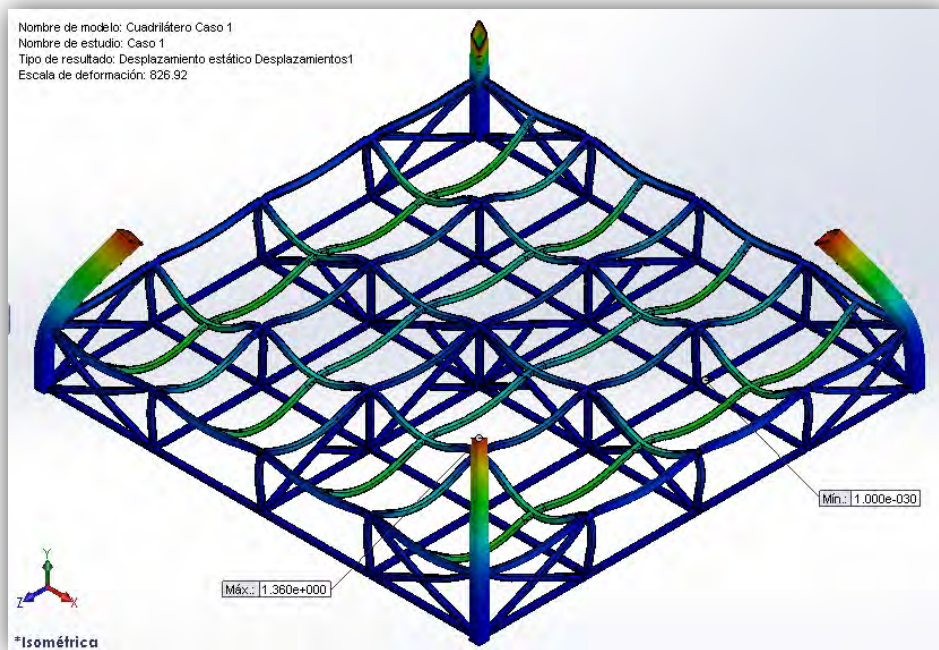


Figura 74. Ejemplo de desplazamientos para el Caso 1 modelo 1.2

El comportamiento es idéntico al del modelo 1.1, solo que debido a la menor cantidad de acero, se magnifican algo más las tensiones. Ahora, los perfiles verticales exteriores se ven tensionados incluso teniendo en cuenta en la escala las cuerdas (ver figura 72), lo que indica que los perfiles quitados sí influían en el comportamiento, pero también que ha sido una buena idea reducir material ya que no son tensiones tan grandes. La máxima tensión se vuelve a producir en el punto ya analizado en el modelo anterior, por lo que empieza a parecer la zona crítica de un cuadrilátero.

Los desplazamientos son parecidos a los del modelo 1.1 también (ver figura 74), con deformaciones idénticas, donde las zonas colindantes a los postes sufren un incremento de estas flechas.

Sin embargo, sigue siendo necesario realizar un estudio sin tener en cuenta las cuerdas para poder apreciar el comportamiento del cuadrilátero como tal. Con ello se obtiene:

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
$\sigma_{Von Mises}$ :	25,3 MPa	17,2 MPa	21,6 MPa	9,0 MPa
$\sigma_{X max}$	-26,8 MPa	-18,2 MPa	-14,6 MPa	-9,6 MPa
$\sigma_{Z max}$	-16,7 MPa	-16,1 MPa	-14,8 MPa	-6,1 MPa
$\sigma_{Y max}$	-23,6 MPa	-12,5 MPa	-26,4 MPa	-5,5 MPa
$\tau_{XY max}$	12,0 MPa	-5,6 MPa	6,8 MPa	-3,3 MPa
$\tau_{XZ max}$	-8,2 MPa	-4,9 MPa	5,0 MPa	2,4 MPa
$\tau_{YZ max}$	-10,3 MPa	-6,1 MPa	8,6 MPa	2,6 MPa
$\delta_{max estruc}$ :	0,7 mm	0,5 mm	0,5 mm	0,3 mm
$\delta_{X max}$	0,10 mm	0,05 mm	0,09 mm	0,02 mm
$\delta_{Z max}$	0,07 mm	0,04 mm	0,06 mm	0,02 mm
$\delta_{Y max}$	0,70 mm	0,50 mm	0,50 mm	0,30 mm

Tabla 9. Resultados del modelo 1.2 sin el efecto de las cuerdas

A continuación se muestran las distintas imágenes justificativas a dicha tabla:

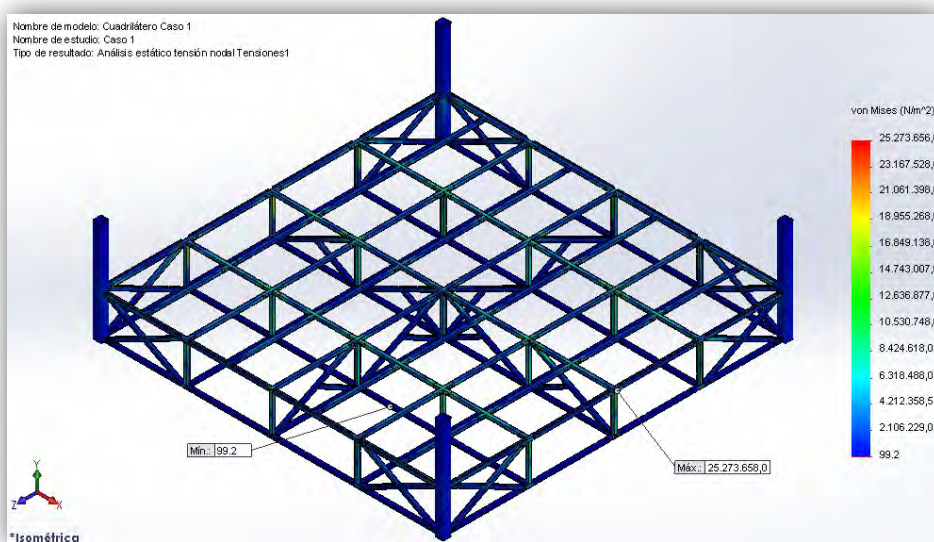


Figura 75. Tensión de Von Mises Caso 1 modelo 1.2



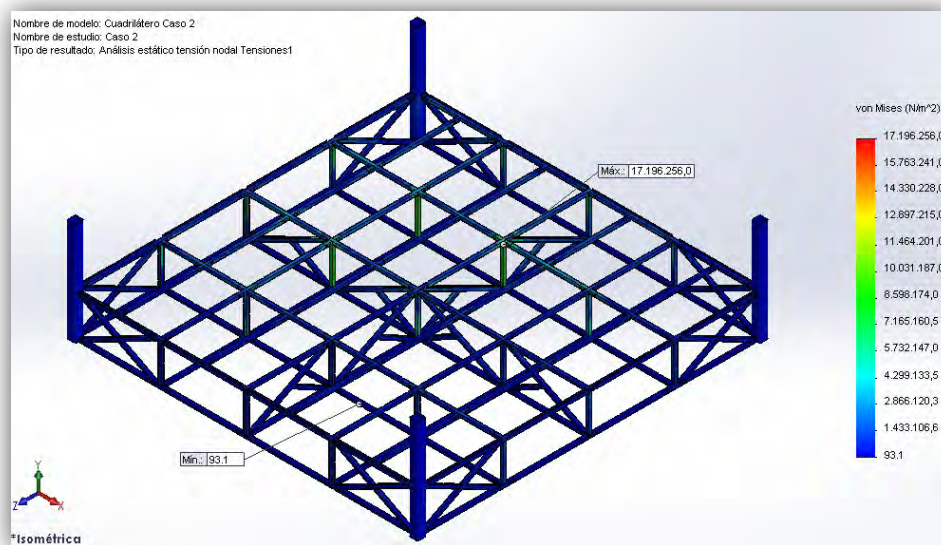


Figura 76. Tensión de Von Mises Caso 2 modelo 1.2

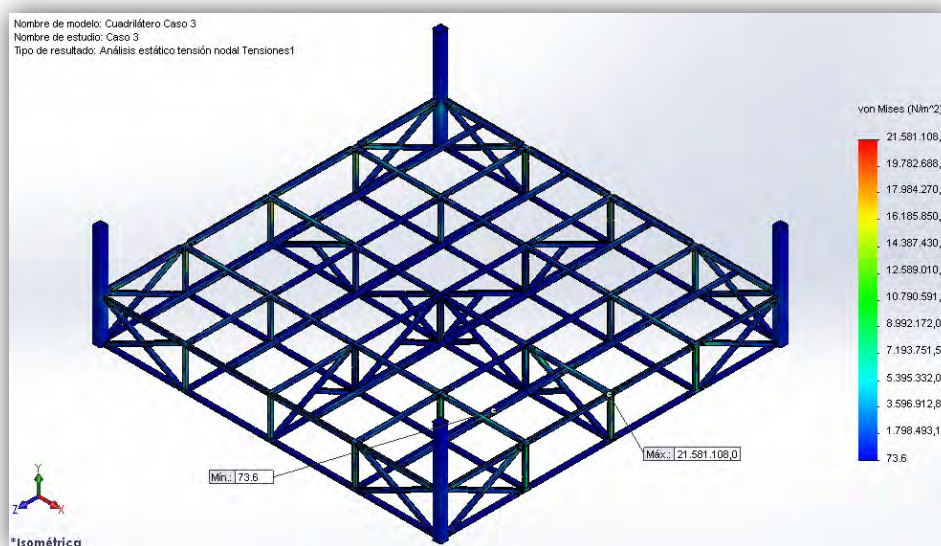


Figura 77. Tensión de Von Mises Caso 3 modelo 1.2

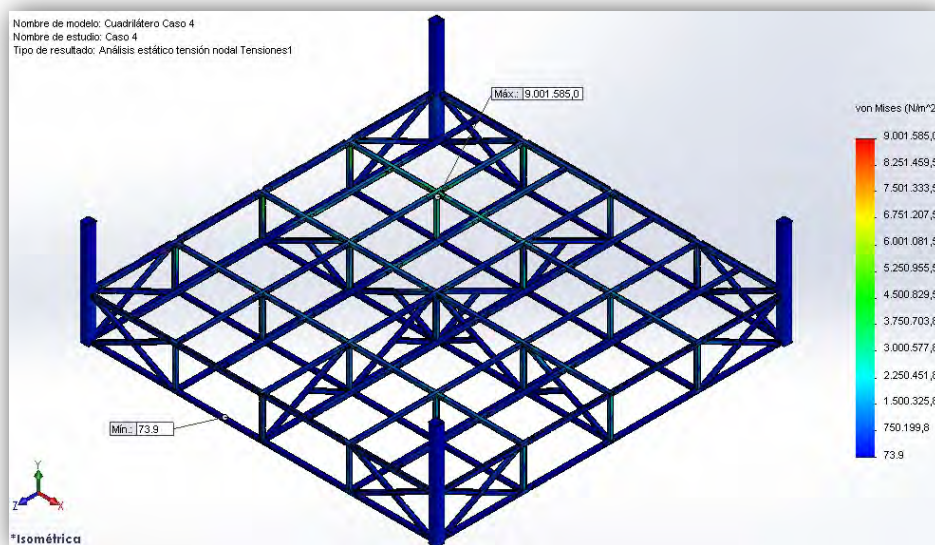


Figura 78. Tensión de Von Mises Caso 4 modelo 1.2

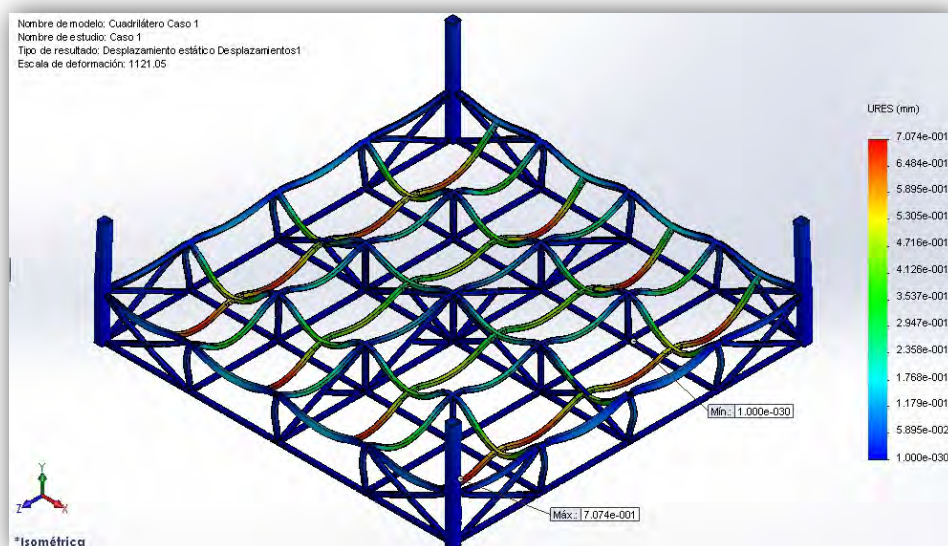


Figura 79. Deformación del cuadrilátero Caso 1 modelo 1.2

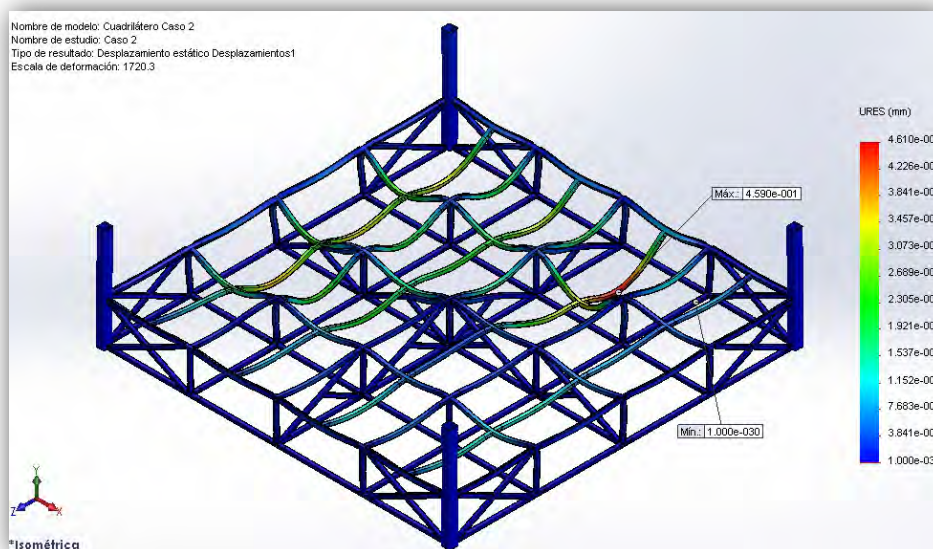


Figura 80. Deformación del cuadrilátero Caso 2 modelo 1.2

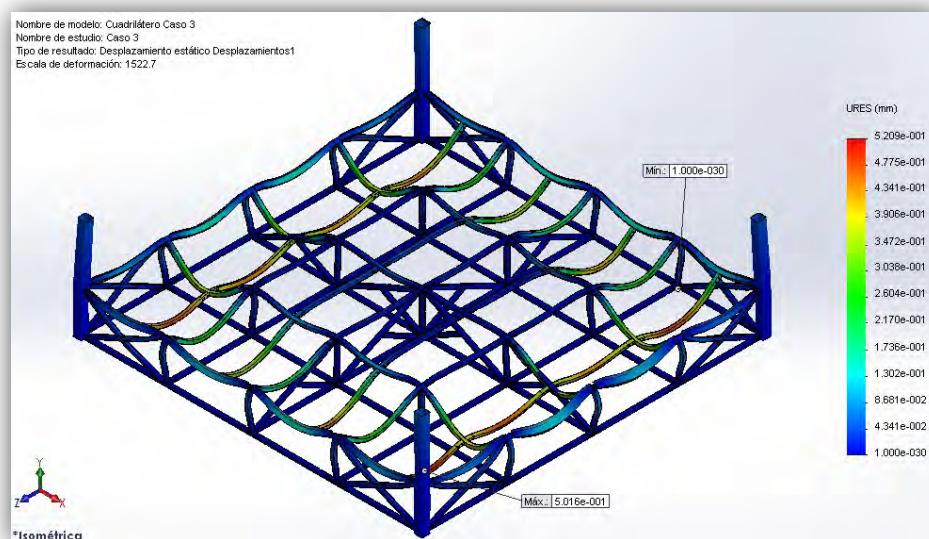


Figura 81. Deformación del cuadrilátero Caso 3 modelo 1.2



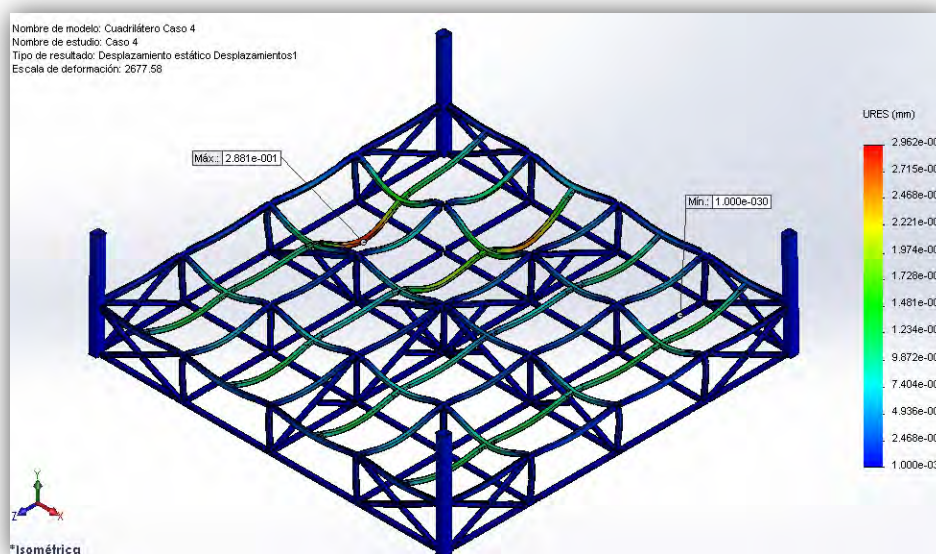


Figura 82. Deformación del cuadrilátero Caso 4 modelo 1.2

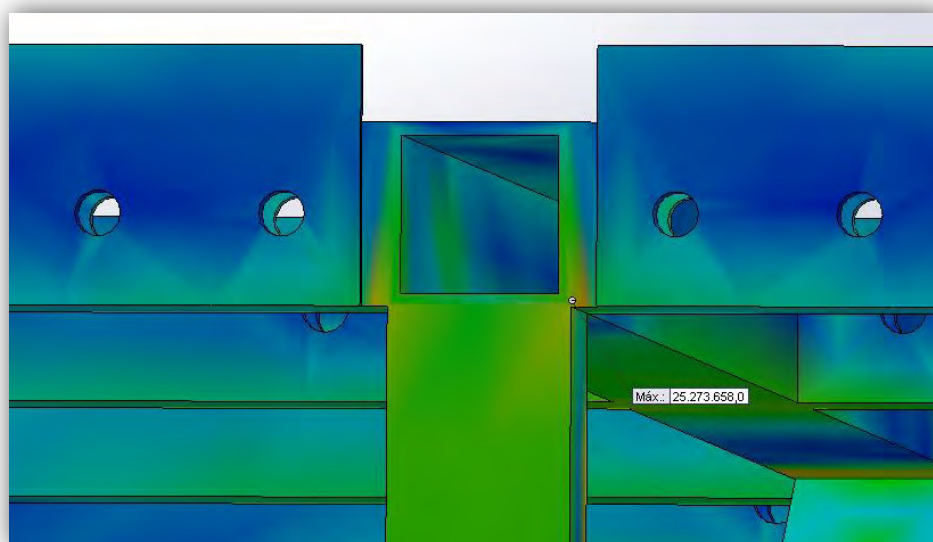


Figura 83. Localización de la máxima tensión Caso 1 modelo 1.2

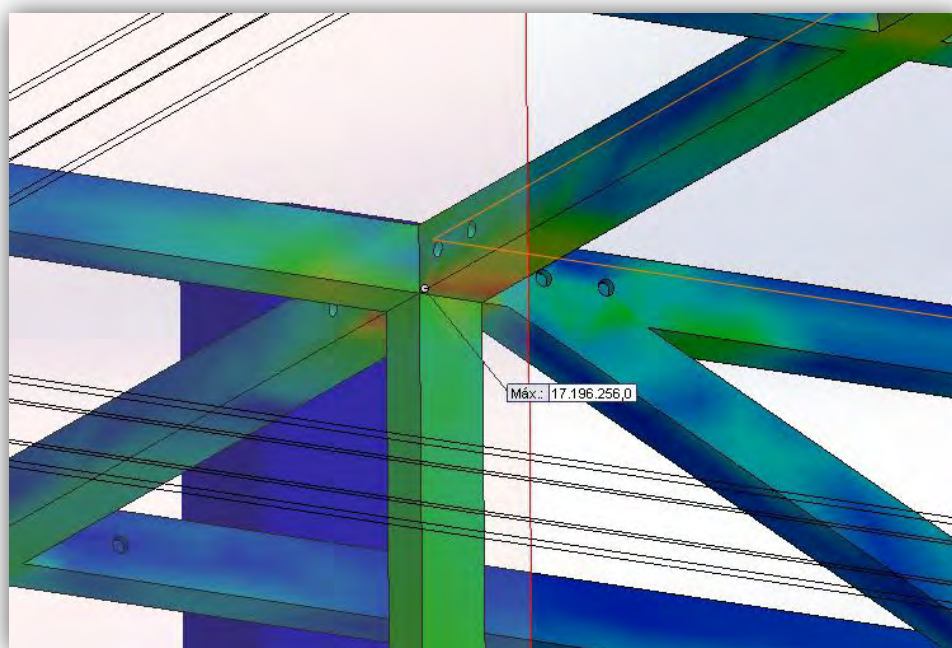


Figura 84. Localización de la máxima tensión Caso 2 modelo 1.2

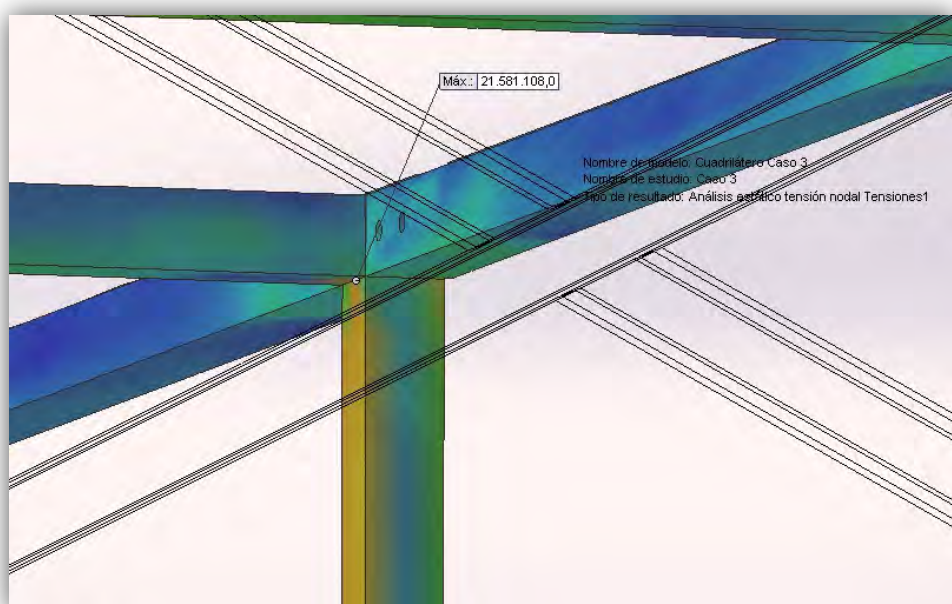


Figura 85. Localización de la máxima tensión Caso 3 modelo 1.2

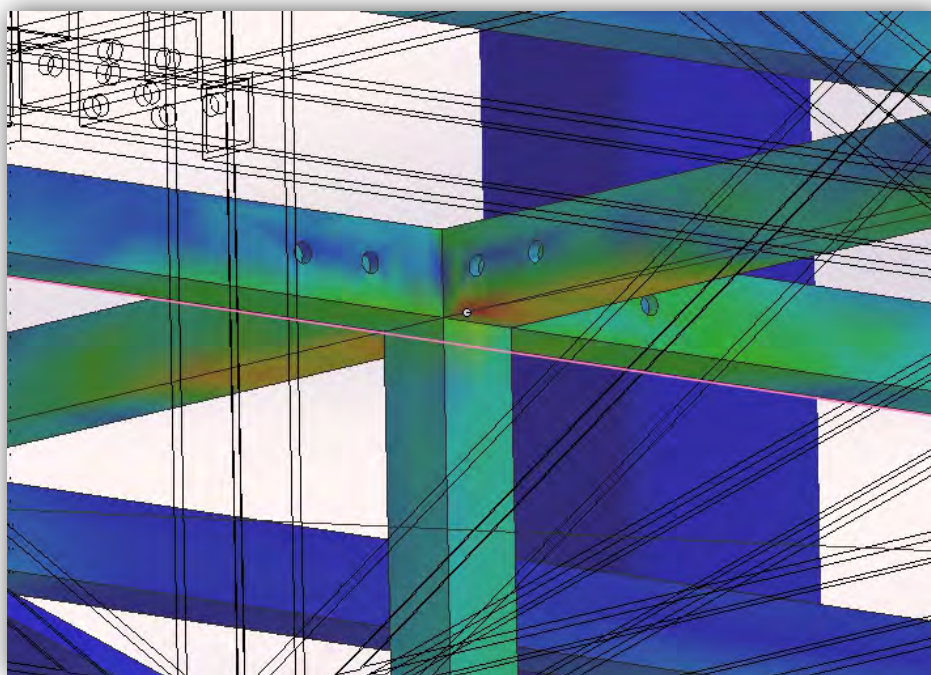


Figura 86. Localización de la máxima tensión Caso 4 modelo 1.2

Como se empezó viendo antes, este modelo presenta resultados reseñables. A grandes rasgos, haber eliminado los perfiles inclinados de varios componentes y añadirlos en un sentido distinto, ha hecho aumentar ligeramente la tensión máxima de los distintos casos. Puesto que la cantidad de acero se ha conseguido reducir bastante (solo hay que ver el peso), este cambio tiene mucho sentido al haber menos material que soporte las cargas y, sin embargo, los coeficientes de seguridad siguen siendo muy semejantes a los del primer modelo para cada caso, siendo el general aun idéntico al anterior de valor 6.

Lo curioso resulta en el reparto de tensiones a los que ha llevado esta modificación. Tanto las tensiones principales en sentido vertical como los esfuerzos cortantes apenas han sufrido variaciones significativas, sigue habiendo un predominante comportamiento a compresión y los cortantes mantienen un cierto equilibrio entre sus valores. Queda por tanto claro, que los perfiles inclinados poco influían en estos campos.

Donde sí influían era en las tensiones pertenecientes al plano del suelo (X y Z), donde se apreciaba una redistribución de los esfuerzos. Puesto que se ha debilitado el eje X (todos los perfiles inclinados estaban orientados en esa dirección) las tensiones principales casi han llegado a duplicarse y, sin embargo, en el eje Z donde se han añadido perfiles inclinados y hay mayor cantidad de perfiles horizontales, estos

---

esfuerzos se han reducido enormemente. También se ve un cambio significativo en los lugares de concentración de tensiones, ya que ahora, aparte de los puntos de unión con los postes, también se forman en las crucetas superiores del interior del ring, lo que puede resultar más peligroso en caso de fallo, pero facilita mucho su inspección. De todas formas, y como se ha comentado anteriormente, disponemos de un coeficiente elevado, por lo que no es alarmante.

Las flechas también se han visto afectadas. El modo de deformación para cada caso es similar al modelo anterior, lo que hace ver que los perfiles no influían en ello, aunque se aprecia mayor pandeo en los perfiles verticales exteriores (fruto del debilitamiento al que ha sido sometido el eje X). De todas maneras siguen sin ser valores muy llamativos.

El mayor punto reseñable de este modelo es el cambio en las tensiones y deformaciones que se ha generado en el Caso 3. Puesto que la concentración de esfuerzos se sitúa en la parte exterior del ring, es una gran cantidad de peso el que tiene que ser soportado ahora por muy pocos perfiles. De todas formas, todos los casos siguen estando muy por debajo de las capacidades máximas del material, y los casos más probables de suceder, el 1 y 4, no varían especialmente.

A la vista de los resultados se modelará una tercera estructura que buscará tener más equilibrio entre sus esfuerzos de vista a los posibles problemas que se pueda tener en el análisis dinámico, ya que son los esfuerzos paralelos al suelo los más descontrolados con este diseño y, sin embargo, los más frecuentes ante impactos como los que recibirá en la vida real.

### 3.3.3. Modelo 1.3:

Dicho modelo posee una zona interior mucha más rígida y simétrica, que le otorga un núcleo muy estable para soportar esfuerzos y deformaciones, esperando conseguir con ello minimizar las deficiencias del segundo modelo.



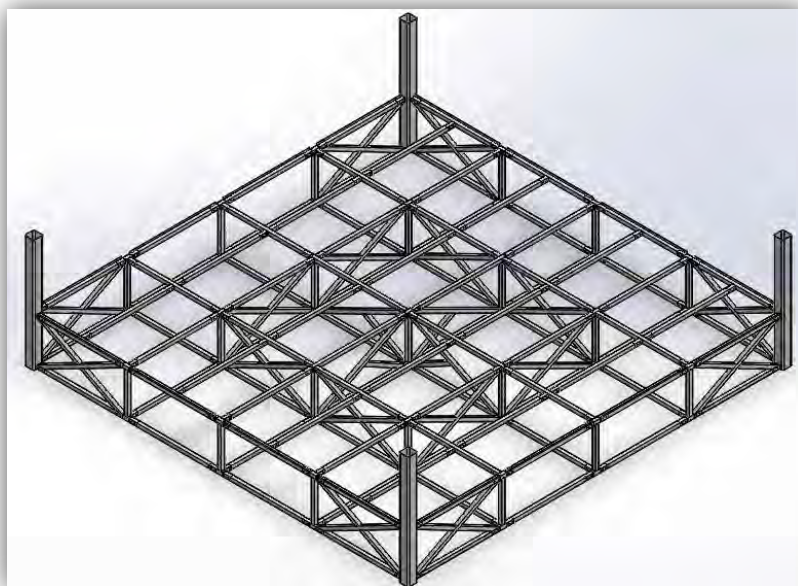


Figura 87. Estructura del cuadrilátero del modelo 1.3



Figura 88. Lateral exterior del modelo 1.3

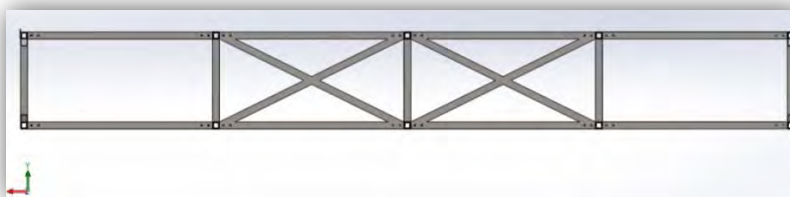


Figura 89. Sección intermedia del modelo 1.3

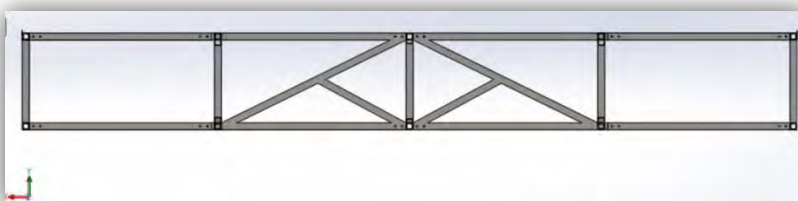


Figura 90. Sección central del modelo 1.3

### 3.3.3.1. Análisis del tablero:

Los resultados obtenidos para el modelo 1.1 son los mismos que para este.

### 3.3.3.2. Análisis de la estructura:

Las propiedades físicas para este modelo son:

<b>Peso Total:</b>	<b>4166 Kg</b>
<b>Cantidades:</b>	
Perfil 70x70x5	271 m
Perfil 60x60x5	33 m
Perfil 200x200x5	9 m
Pletina	29 m

Tabla 10. Propiedades físicas del modelo 1.3

Y los resultados obtenidos:

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
$\sigma_{Von Mises}$ :	84,6 MPa	84,4 MPa	79,2 MPa	78,6 MPa
$\delta_{max\ estruct}$ :	0,8 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.2 mm
CS:	4,8	4,9	5,2	5,2

Tabla 11. Resultados del modelo 1.3

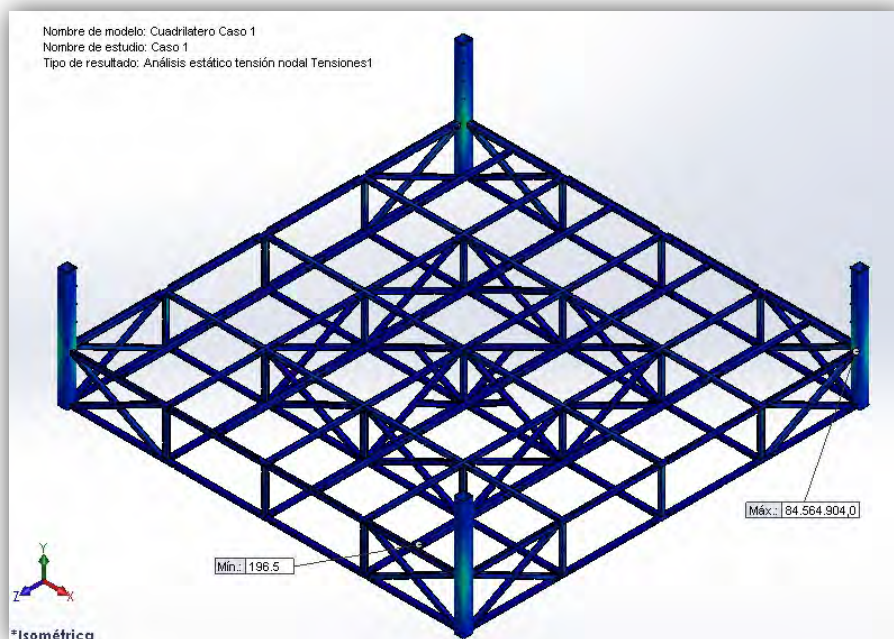


Figura 91. Caso genérico de tensiones en la estructura modelo 1.3

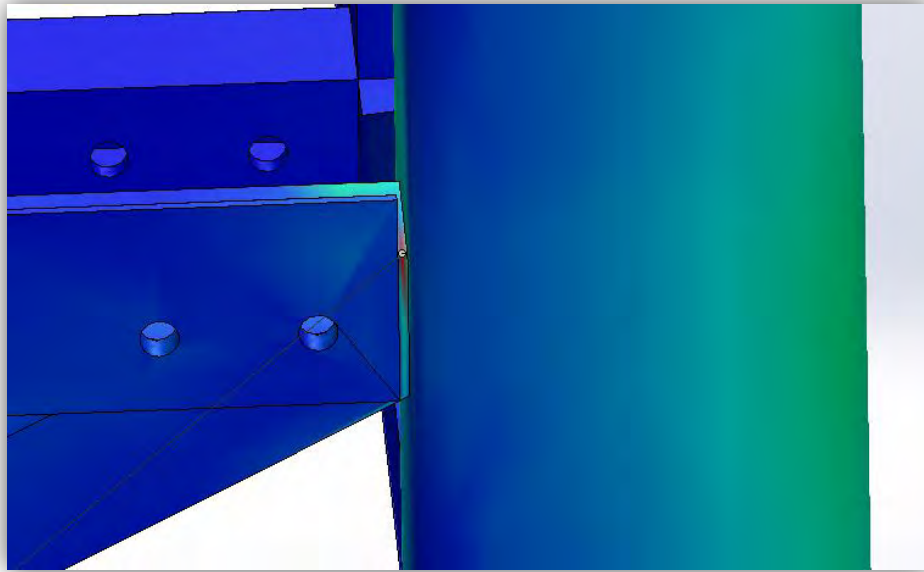


Figura 92. Caso genérico de concentrador de tensiones modelo 1.3

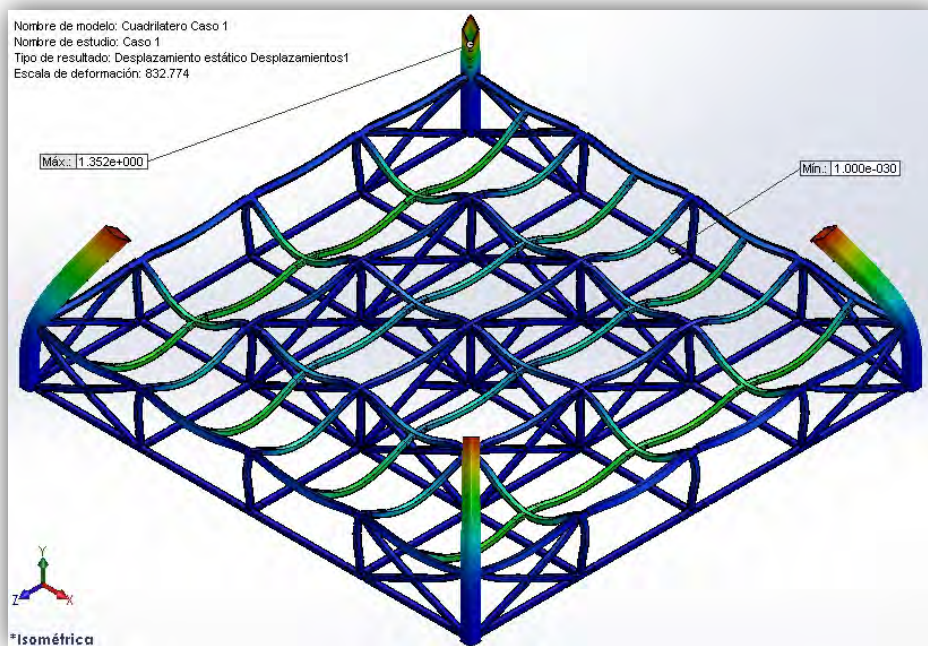


Figura 93. Ejemplo de desplazamientos para el Caso 1 modelo 1.3

Un rápido vistazo basta para ver que no es el mejor de los modelos. Al redistribuir las partes reforzadas del cuadrilátero al centro, se ha terminado usando más material que en cualquiera de los modelos anteriores y, para colmo, es el que mayores tensiones soporta. Esto se debe a que ahora el anillo exterior del ring, donde están los soportes, es casi una estructura aparte que soporta dichos esfuerzos mientras que la central se ocupa de las sollicitaciones del combate. No es una buena estrategia ya que los impactos sobre las

cuerdas pueden llegar a ser muy elevados y poco acero absorbería eso. El concentrador de tensiones principal (ver figura 92) sigue siendo el mismo y como pasaba con el modelo 1.2, parece que las uniones atraen estas concentraciones comparadas al modelo 1.1.

Aunque se ha visto ya que es un modelo que se desechará, se realizará un segundo estudio sin las cuerdas para entenderlo mejor:

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
$\sigma_{Von Mises}$ :	24,2 MPa	17,7 MPa	18,5 MPa	7,5 MPa
$\sigma_{X max}$	-26,7 MPa	-14,2 MPa	13.5 MPa	-8.7 MPa
$\sigma_{Z max}$	-20,0 MPa	-15,6 MPa	-10.6 MPa	-6.6 MPa
$\sigma_{Y max}$	-26,8 MPa	-13,0 MPa	-19.7 MPa	4.7 MPa
$\tau_{XY max}$	-13,4 MPa	7,6 MPa	-7.4 MPa	3.2 MPa
$\tau_{XZ max}$	9,0 MPa	-4,5 MPa	-5.5 MPa	-2.4 MPa
$\tau_{YZ max}$	-9,8 MPa	-8,2 MPa	-6.6 MPa	-3.3 MPa
$\delta_{max estruc}$ :	0,8 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.2 mm
$\delta_{X max}$	0.11 mm	0.05 mm	0.09 mm	0.02 mm
$\delta_{Z max}$	0.07 mm	0.04 mm	0.06 mm	0.02 mm
$\delta_{Y max}$	0,77 mm	0.37 mm	0.48 mm	0.25 mm

Tabla 12. Resultados del modelo 1.3 sin el efecto de las cuerdas

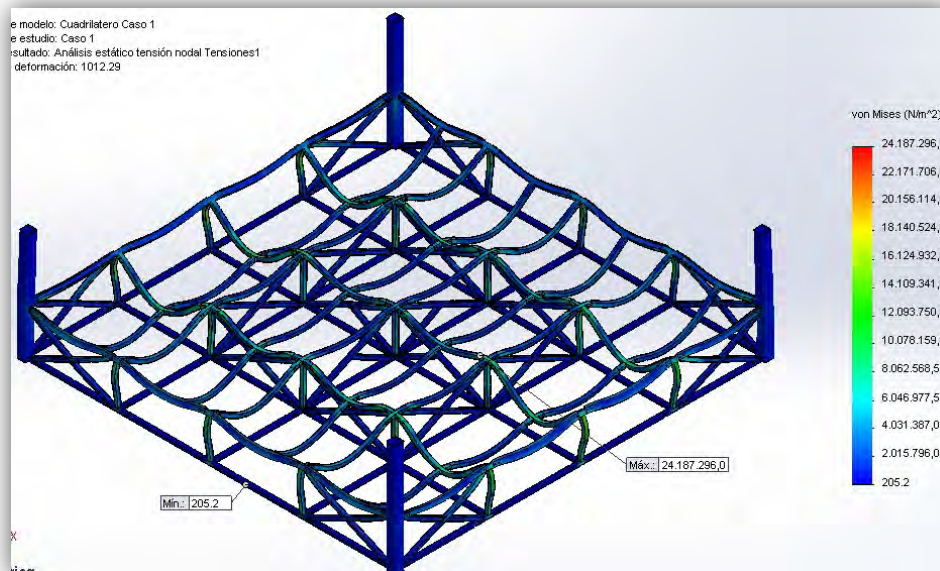


Figura 94. Tensión de Von Mises Caso 1 modelo 1.3



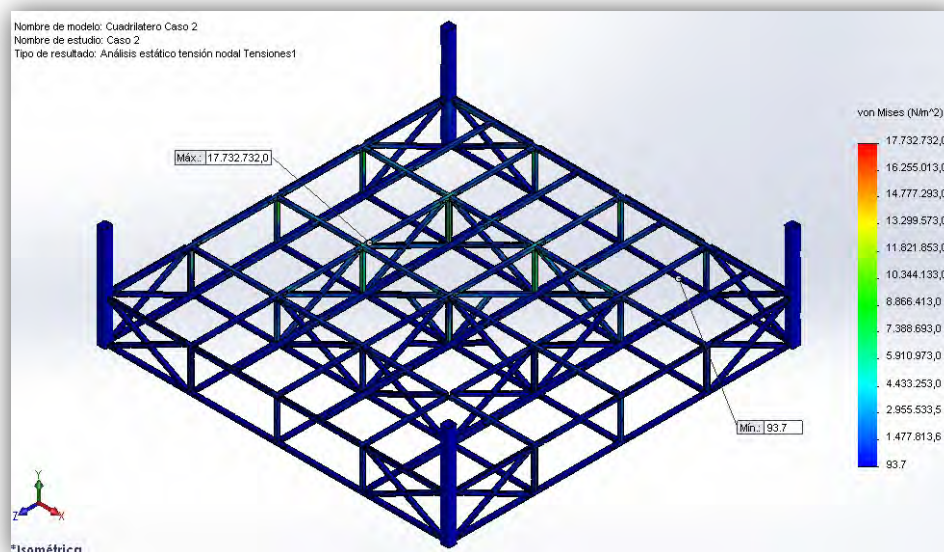


Figura 95. Tensión de Von Mises Caso 2 modelo 1.3

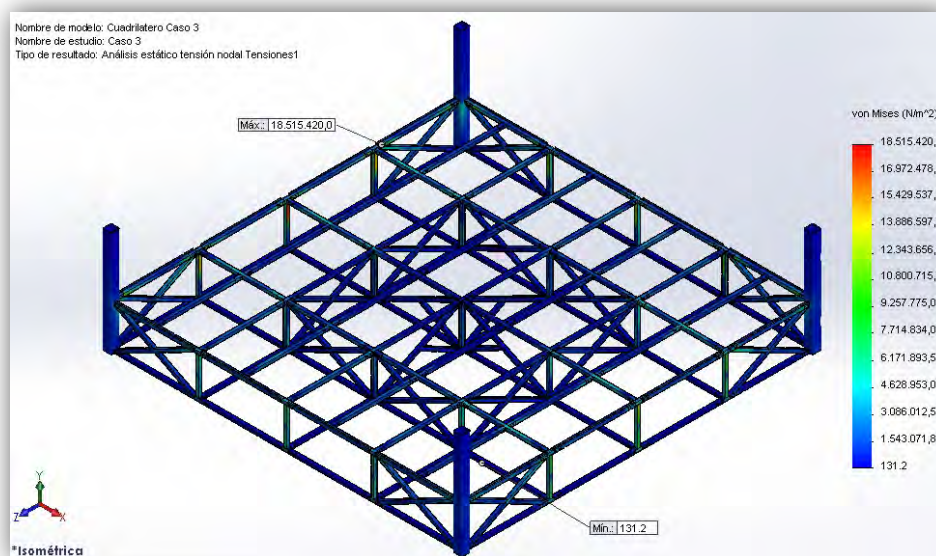


Figura 96. Tensión de Von Mises Caso 3 modelo 1.3

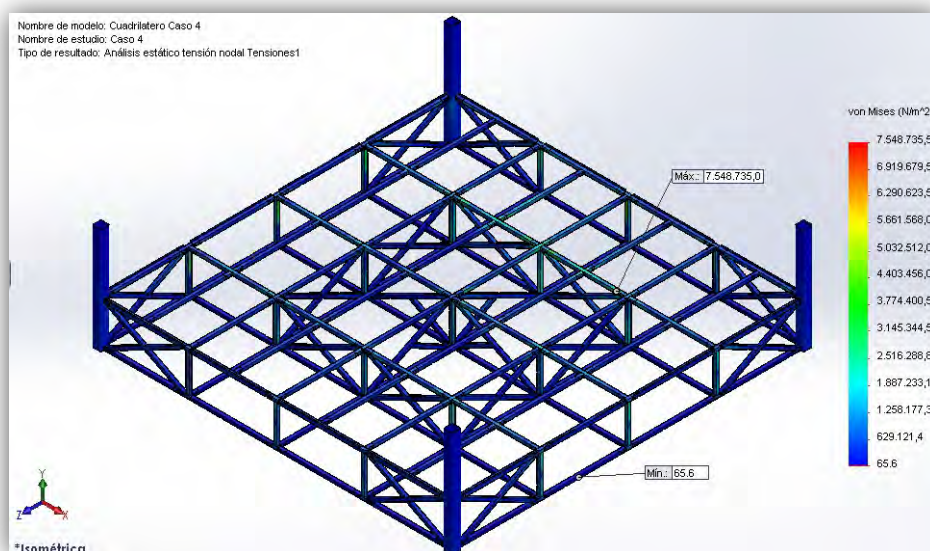


Figura 97. Tensión de Von Mises Caso 4 modelo 1.3

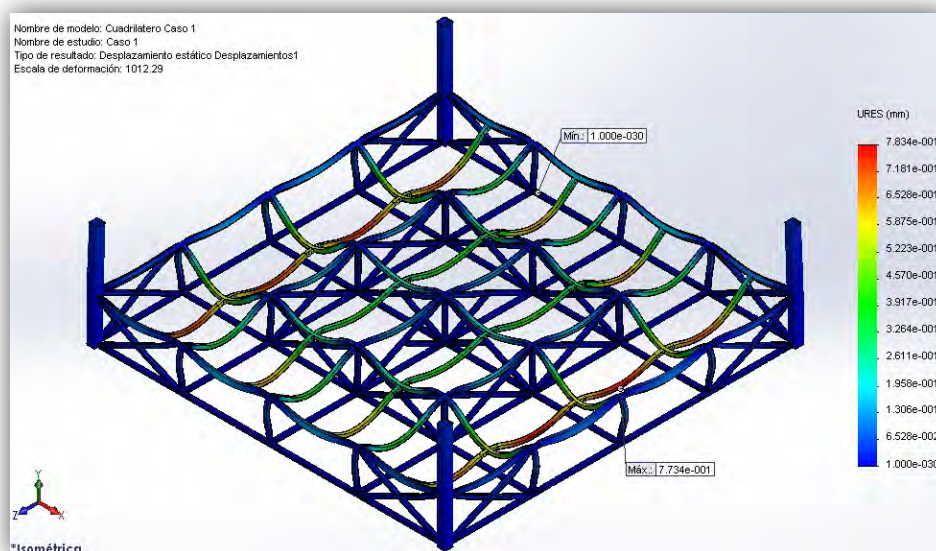


Figura 98. Deformación del cuadrilátero Caso 1 modelo 1.3

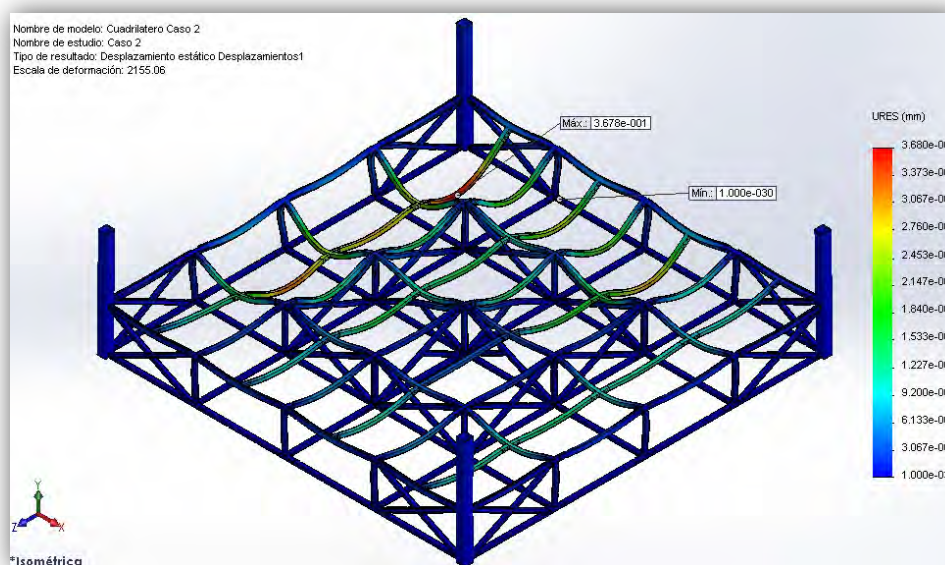


Figura 99. Deformación del cuadrilátero Caso 2 modelo 1.3

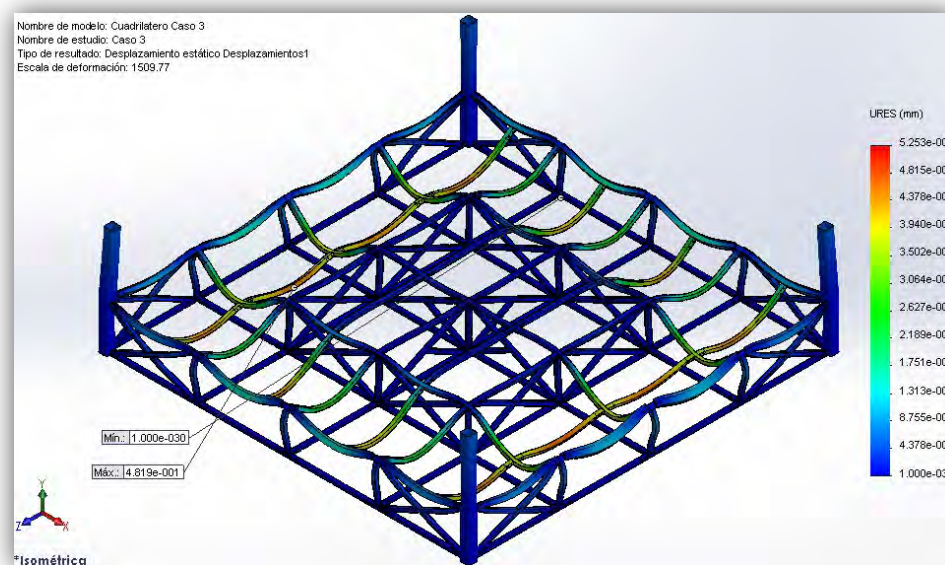


Figura 100. Deformación del cuadrilátero Caso 3 modelo 1.3



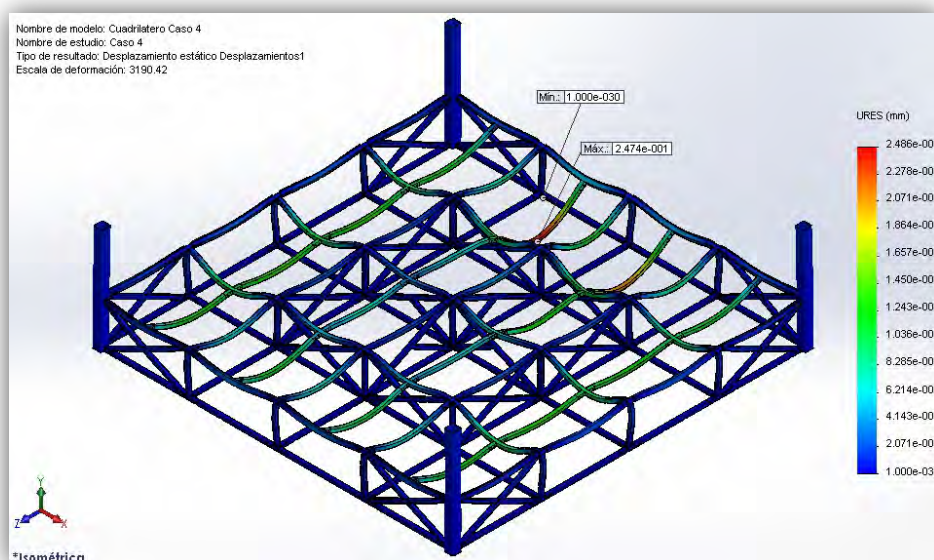


Figura 101. Deformación del cuadrilátero Caso 4 modelo 1.3

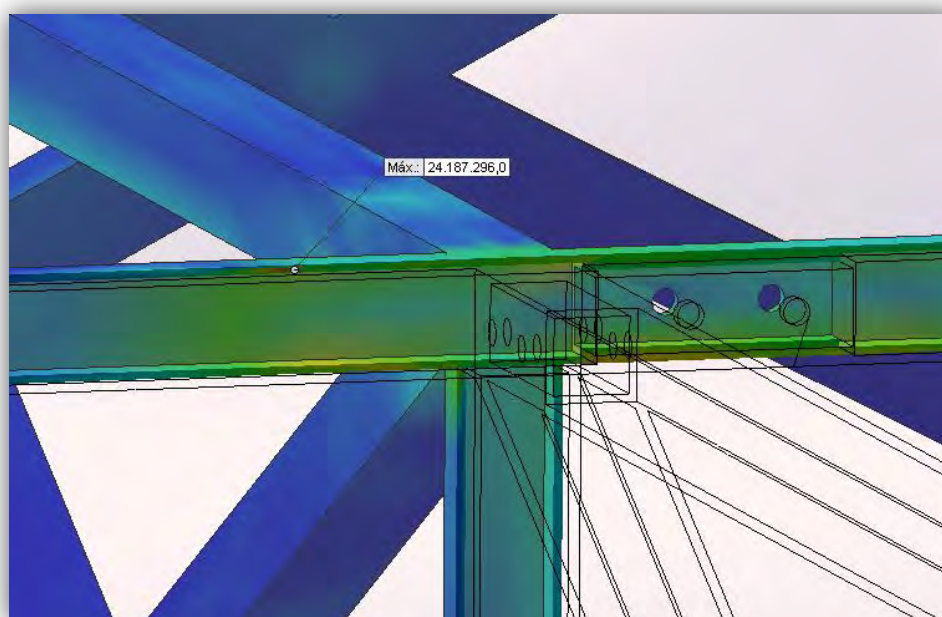


Figura 102. Localización de la máxima tensión Caso 1 modelo 1.3

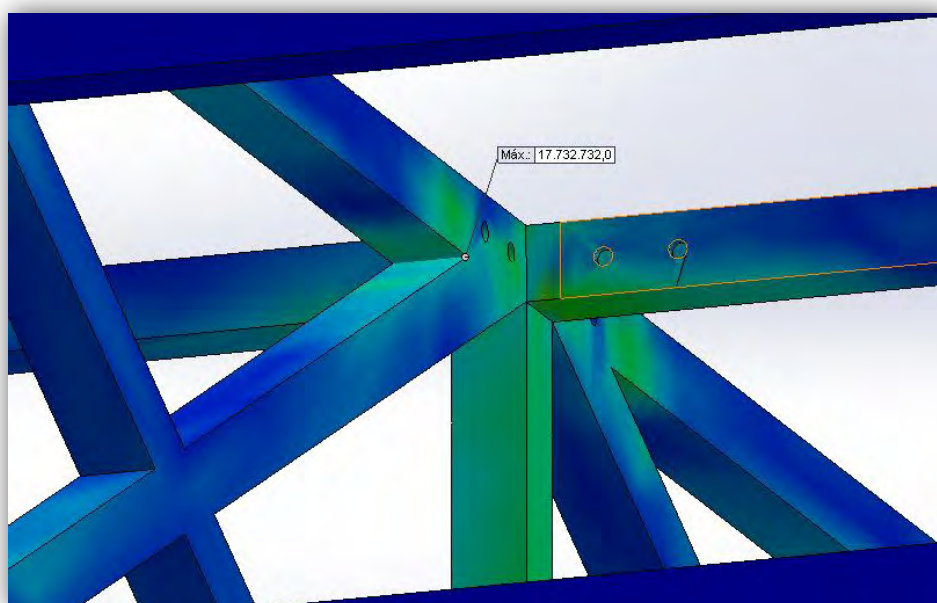


Figura 103. Localización de la máxima tensión Caso 2 modelo 1.3

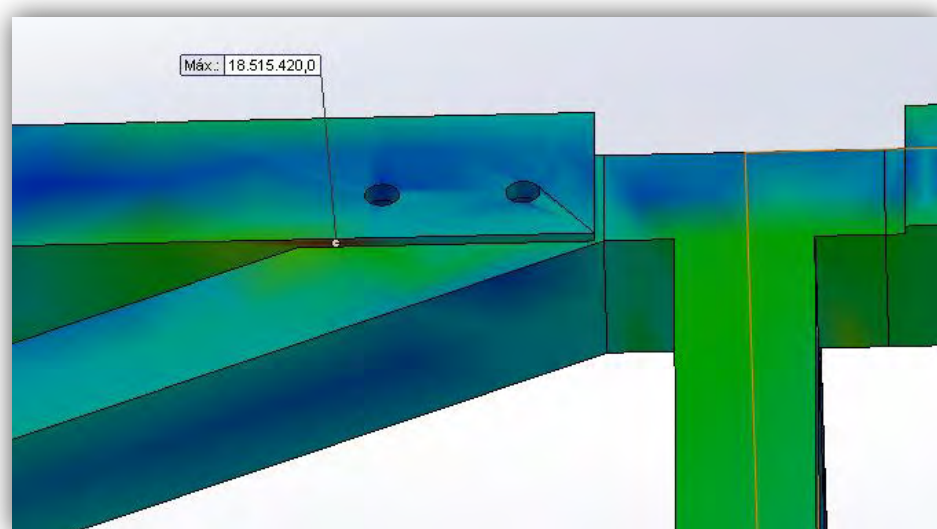


Figura 104. Localización de la máxima tensión Caso 3 modelo 1.3

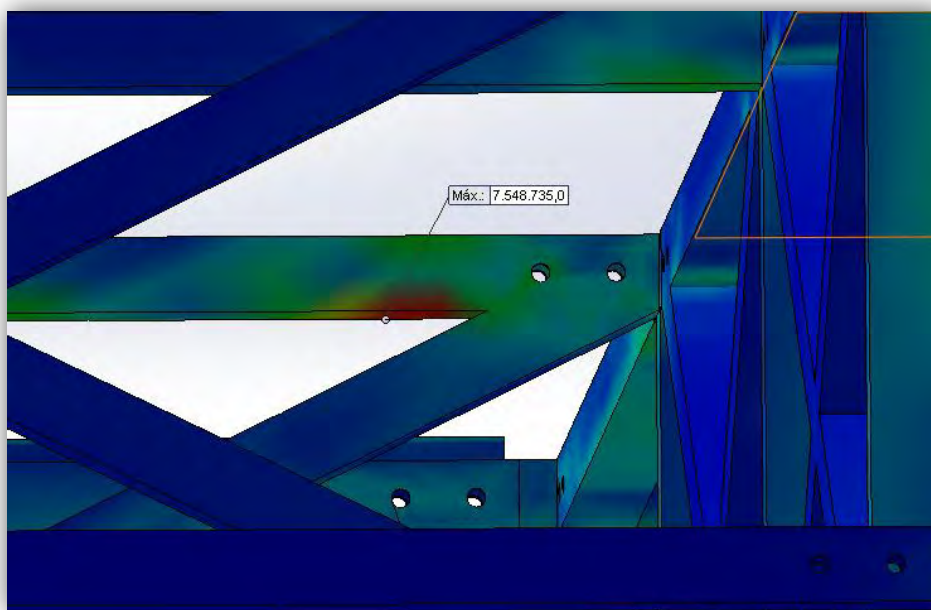


Figura 105. Localización de la máxima tensión Caso 4 modelo 1.3

Sin las cuerdas, las tensiones son algo más pequeñas (en especial en el caso 3) que en los modelos anteriores, aunque los desplazamientos son muy semejantes. Esto demuestra que al menos el refuerzo de la zona central realmente ha rigidizado la zona, pero al unirse estos refuerzos en los perfiles verticales y darse las flechas por la flexión en los perfiles horizontales, estas siguen iguales.

Por esa misma razón, es dicha flexión en los perfiles horizontales la más influyente en los valores de la tensión y las concentraciones se producen alrededor de la unión de los perfiles inclinados y los rectos, por lo que se dificulta su inspección ante fallo por fatiga, y como es normal, cerca de la zona reforzada interior.

Descartando este último modelo, el coeficiente mínimo de seguridad para cualquiera de los casos se puede considerar 5, por lo que será este el coeficiente de seguridad del conjunto (el mínimo del tablero era 9, ver tabla 3) y puesto que entre los dos primeros modelos sus resultados son muy parecidos, se tendrá en cuenta el acero empleado para seleccionar el mejor.

Con ello queda como finalista para este primer modelo el diseño 1.2.

---

### 3.4. Modelo 2:

En el modelo anterior se buscó obtener una estructura equilibrada desde el primer momento, al que después se le tuvo que añadir más acero en función de los resultados obtenidos con los tableros cortados a medida, y aunque los resultados fueron satisfactorios, hubo un sobredimensionamiento del acero.

Ahora se buscará reducir todo lo posible la cantidad de acero desde el principio, eliminando todas las filas y columnas empleadas salvo las mínimas imprescindibles para el apoyo de los tableros, de manera que serán las dimensiones de estos las que den forma a la estructura. Se intentará con ello utilizar los de mayor dimensión posible. Aunque cada vez son más los fabricantes que venden como medidas estándar 2400x2400 mm, aún se pueden encontrar otros, utilizándose para el proyecto las siguientes dimensiones:

- 2 tableros de 3660x2440x10 mm.
- 4 tableros de 2440x2050x10 mm.
- 4 tableros de 2910x1025x10 mm.
- 2 tableros de 3660x1455x10 mm.

Dichas dimensiones han sido obtenidas por [34] – [42].

Además, dicho modelo empleará una variación de la técnica descrita anteriormente para unir los perfiles. Mientras que antes los perfiles de 60x60x5 se soldaban a uno de los componentes, ahora serán piezas aparte que se atornillarán por ambos lados. De esta manera se consigue mayor facilidad en el montaje, mejorar el mantenimiento al reducir el número de cordones de soldadura y facilitar su fabricación.

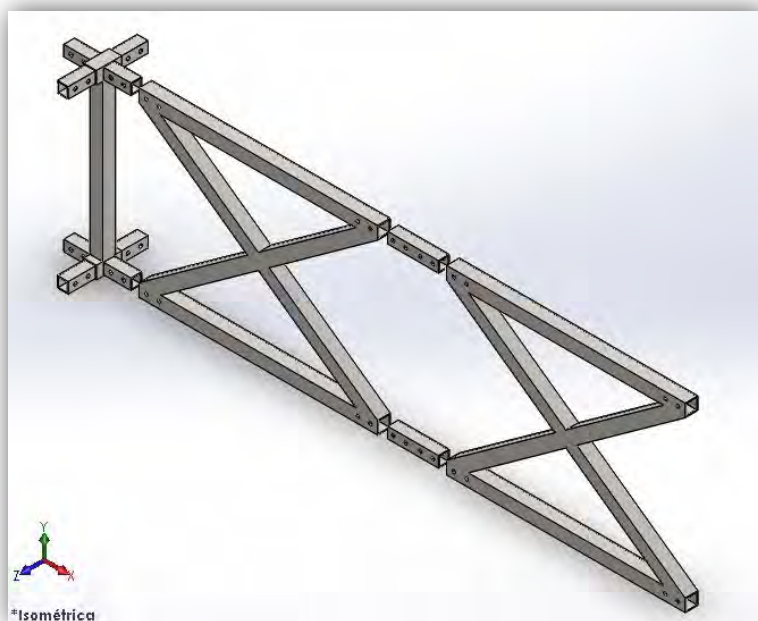


Figura 106. Cambio de uniones entre perfiles

Bajo estas restricciones, la estructura del modelo se reducirá a una cuadrícula de tres por tres cuyas subestructuras en sentidos X y Z serán las reforzadas, dejando los tableros de mayores dimensiones en la periferia del cuadrilátero por ser la zona donde menos se verá cargado. El centro se reforzará por ser el punto donde se concentrará más el peso de los combates y dos laterales presentarán apoyos supletorios por las dimensiones de los maderos.

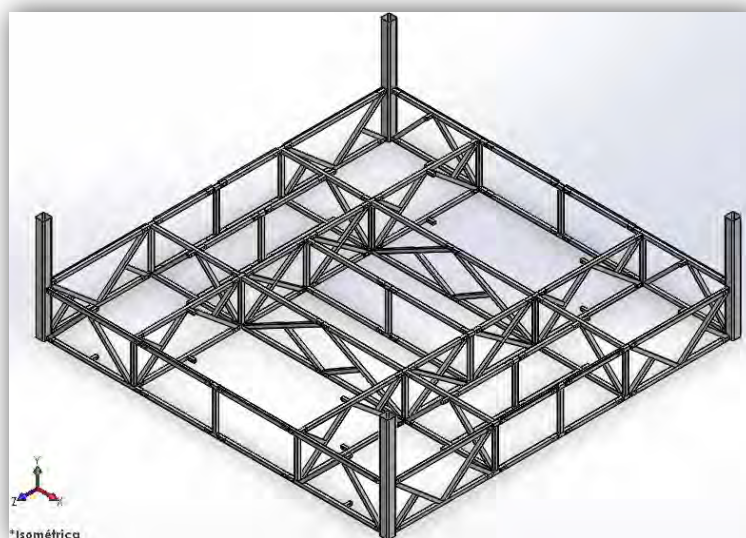


Figura 107. Estructura del cuadrilátero modelo 2



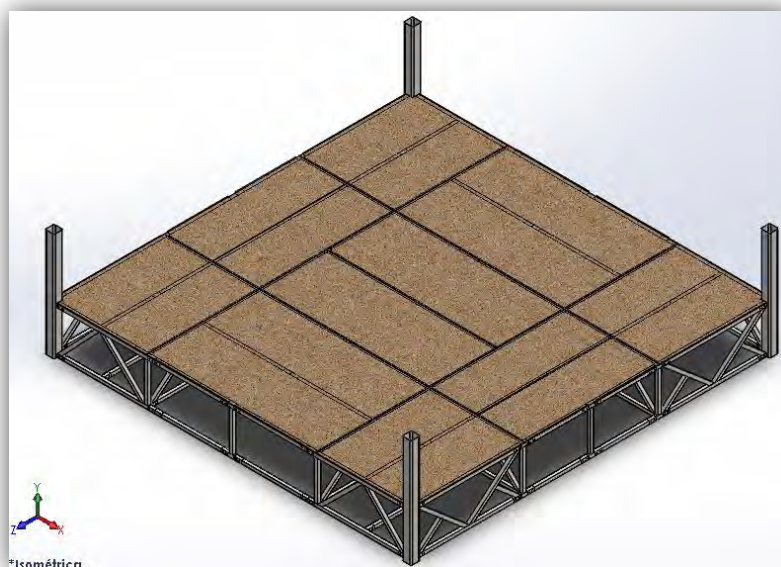


Figura 108. Cuadrilátero modelo 2

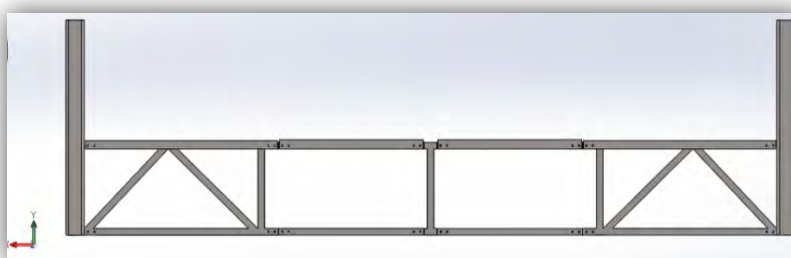


Figura 109. Lateral exterior modelo 2 sentido Z

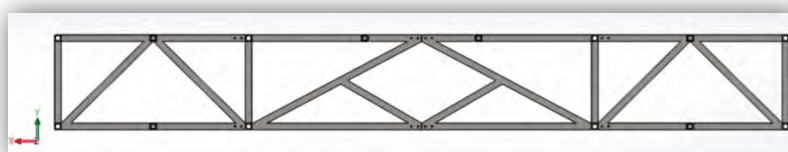


Figura 110. Lateral interior modelo 2 sentido Z

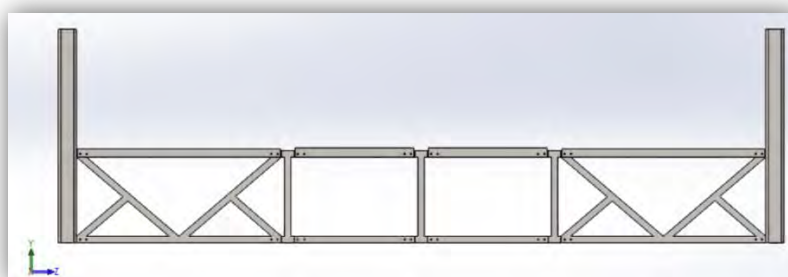


Figura 111. Lateral exterior modelo 2 sentido X

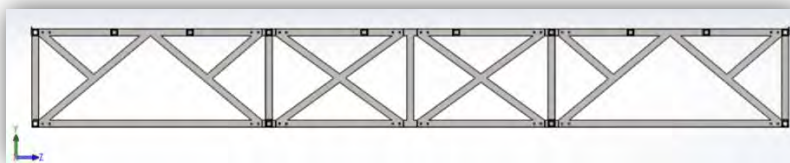


Figura 112. Lateral interior modelo 2 sentido X

Sin embargo, del Apartado 3.3.1.1 se sabe que hay varios de estos tableros que por sus dimensiones necesitarán de un perfil que pase por el medio para evitar la deformación. Como mínimo los tableros de 2440x2050 mm y de 3660x2440 mm, por lo que la estructura debe de ser remodelada como se muestra:

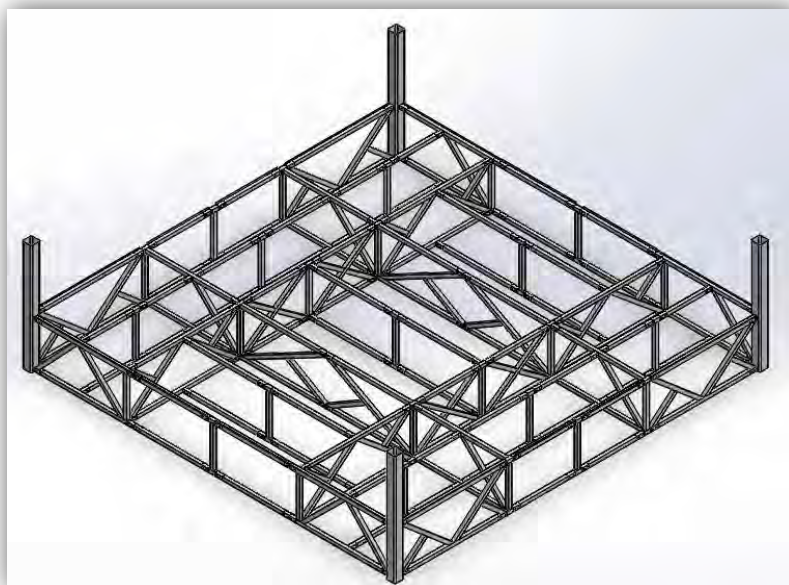


Figura 113. Estructura remodelada del cuadrilátero modelo 2

#### 3.4.1. Análisis del tablero:

Al igual que pasó con el modelo 1, existen varios tableros con dimensiones muy dispares, pero sin embargo, con las últimas modificaciones hechas, todos están apoyados de una manera muy parecida, quedando en el aire el área de un rectángulo que sí se puede utilizar como en el modelo anterior, para evaluar a todos estos utilizando dimensiones un poco mayores a cualquiera de ellos.

Se usará por tanto un tablero de 3660x1455x10 mm de material MDF, apoyado sobre una estructura de 4 patas que siga los principio del análisis realizado en el Apartado 2.3 tal y como se muestra:

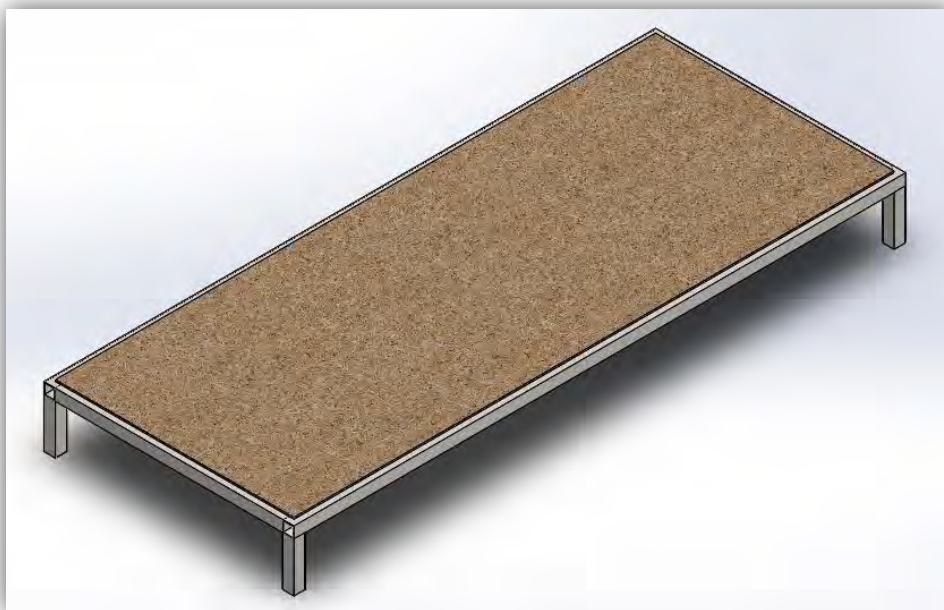


Figura 114. Modelo de estudio

Los resultados obtenidos son los siguientes:

	CASO 5
$\sigma_{\text{Tablero}}$ :	19,6 MPa
$\delta_{\text{max}}$ :	116,0 mm

Tabla 13. Resultados para un tablero rectangular MDF de 10 mm

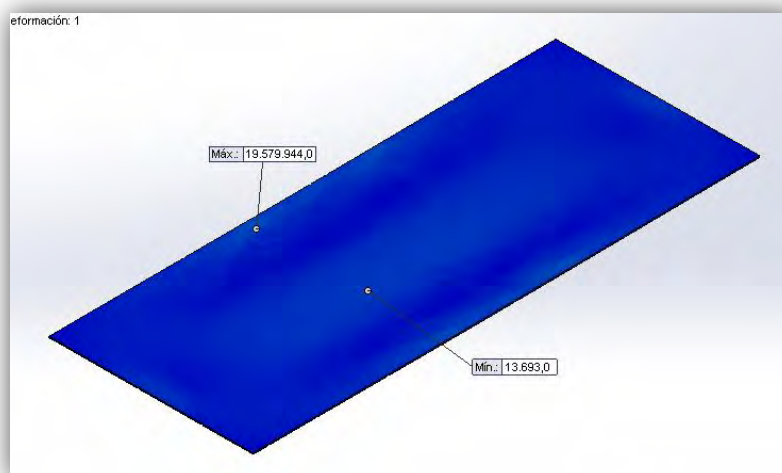


Figura 115. Tensiones en el tablero para un espesor de 10 mm

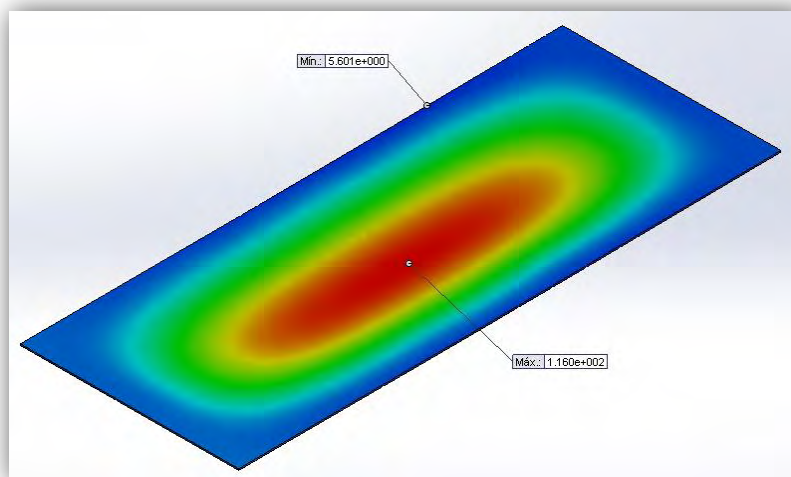


Figura 116. Deformaciones en el tablero para un espesor de 10 mm

A la vista de los resultados, emplear MDF como material soluciona el problema de las tensiones sobre el tablero, pero no es suficiente para impedir la excesiva deformación. Se aumentará como primera medida el espesor a 24 mm:

	CASO 5
$\sigma_{\text{Tablero}}$ :	5,9 MPa
$\delta_{\text{max}}$ :	51,0 mm

Tabla 14. Resultados para un tablero rectangular MDF de 24 mm

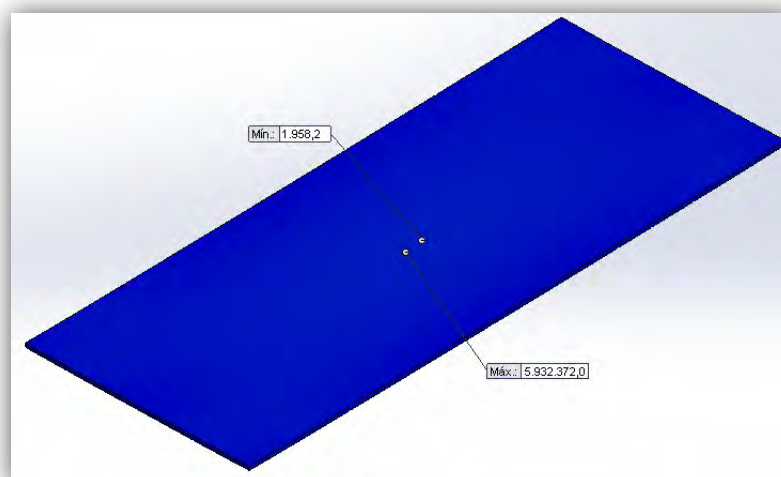


Figura 117. Tensiones en el tablero para un espesor de 24 mm

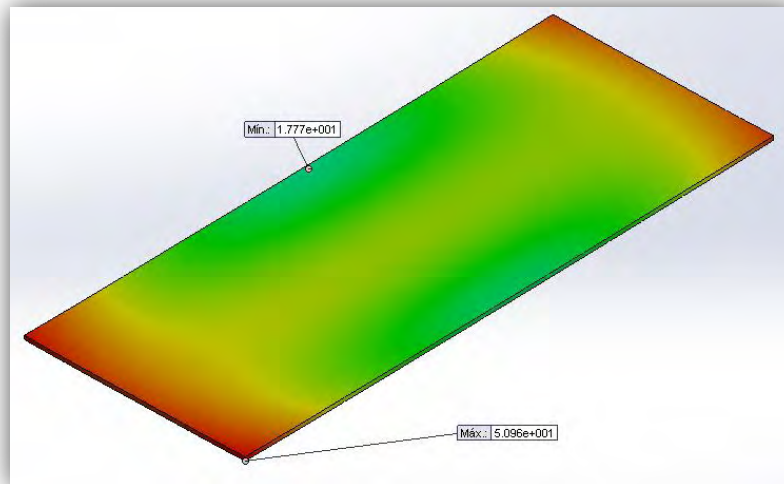


Figura 118. Deformaciones en el tablero para un espesor de 24 mm

Aumentar el espesor se ha logrado obtener valores mucho mejores, reduciendo a más de la mitad los primeros resultados. Sin embargo, el gran espacio que deja la estructura longitudinalmente hace que no sea suficiente, ya que da cabida a mucha flecha. Por ello se colocará un perfil intermedio en el sentido de la longitud más corta, para detener la flecha en su máximo valor usando el menor material posible:

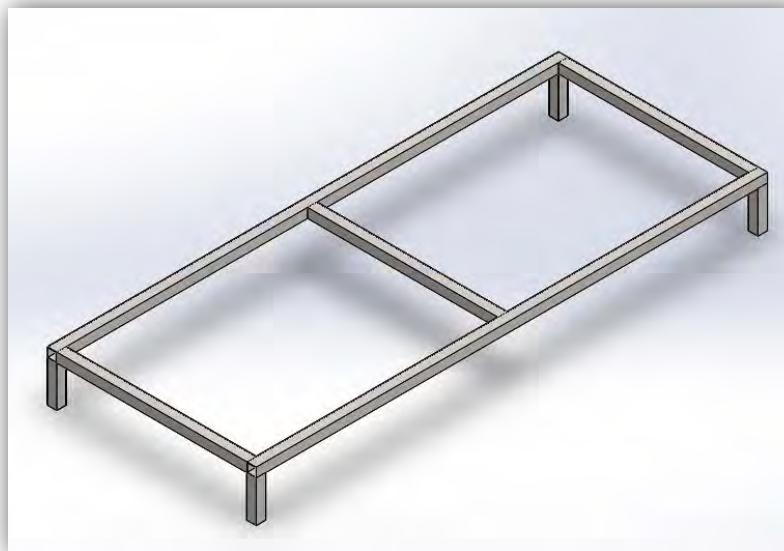


Figura 119. Estructura base modificada



De aquí obtienen los siguientes resultados:

	CASO 5
$\sigma_{\text{Tablero}}$ :	4,1 MPa
$\delta_{\text{max}}$ :	15,4 mm

Tabla 15. Resultados para un tablero rectangular MDF con apoyado simple

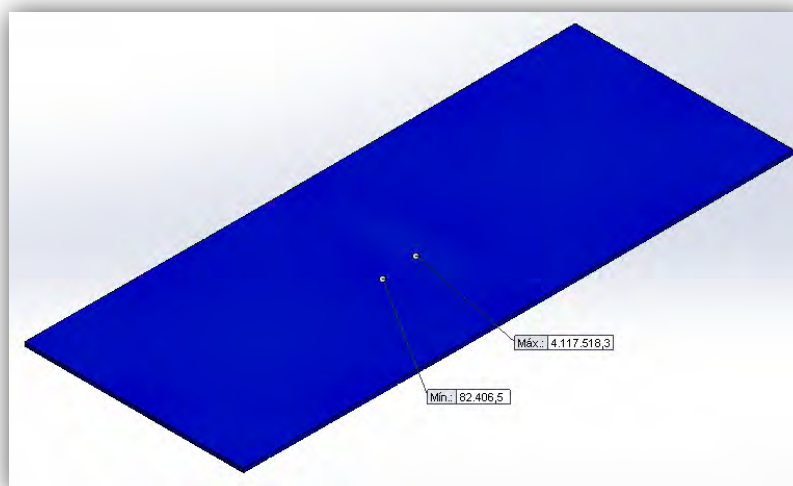


Figura 120. Tensiones en el tablero para estructura modificada

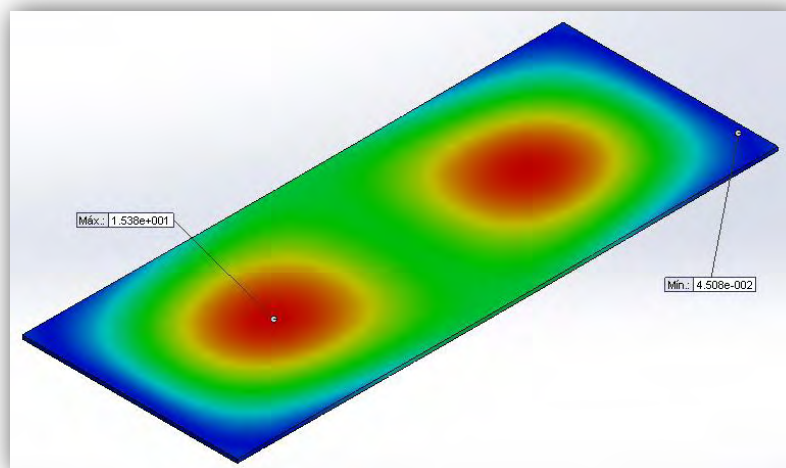


Figura 121. Deformaciones en el tablero para estructura modificada

Las deformaciones se han reducido del orden de la tercera parte, pero sigue sin ser suficiente. Sin embargo se ha comprobado que es una solución efectiva, por lo que se recurrirá a dos perfiles dado el espacio que aún queda libre:

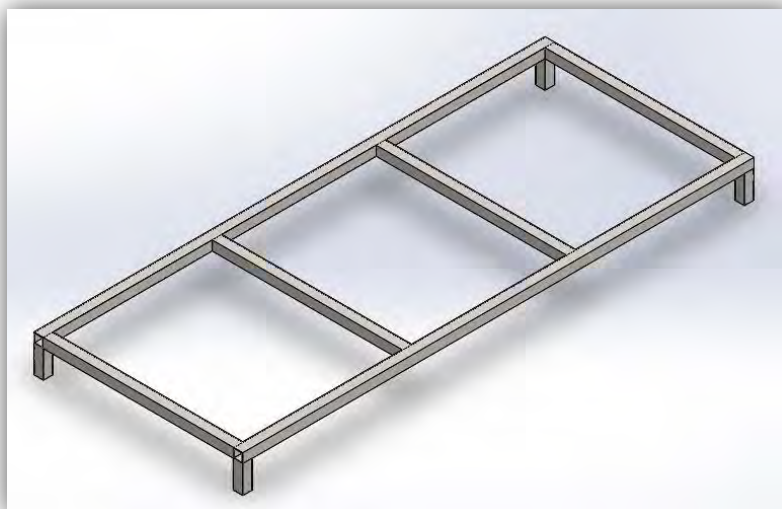


Figura 122. Estructura base remodificada

	CASO 5	CASO 6
$\sigma_{\text{Tablero}}$ :	2,6 MPa	1,9 MPa
$\delta_{\text{max}}$ :	3,9 mm	2,4 mm
CS:	8	11
Peso:	70,3 Kg	

Tabla 16. Resultados para un tablero rectangular MDF con doble apoyado

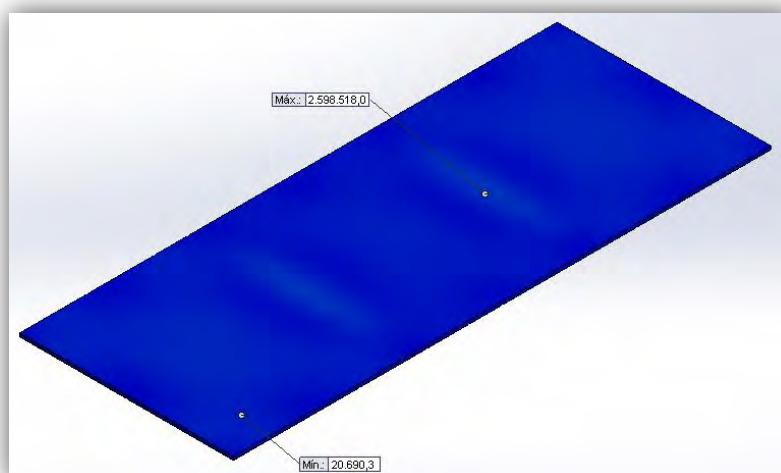


Figura 123. Tensiones en el tablero para estructura remodificada Caso 5



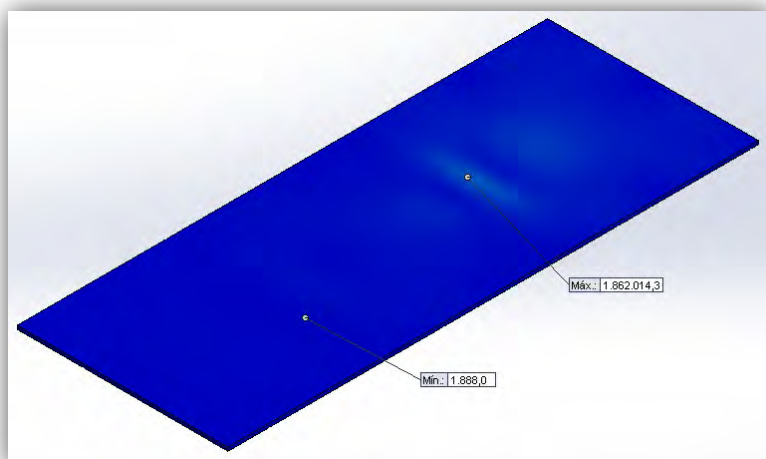


Figura 124. Tensiones en el tablero para estructura remodificada Caso 6

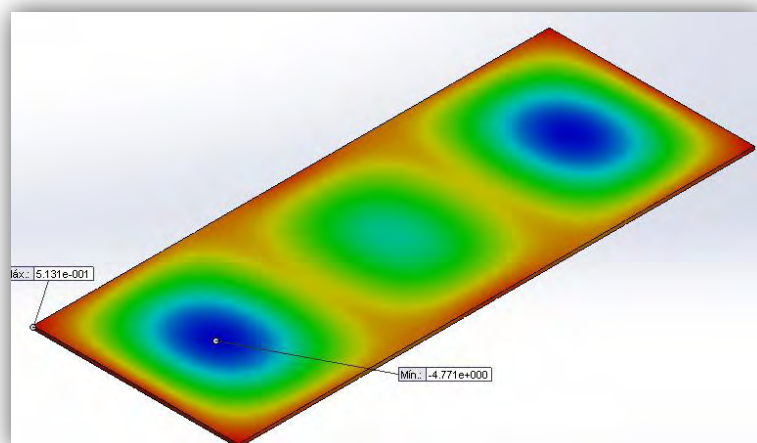


Figura 125. Deformaciones en el tablero para estructura remodificada Caso 5

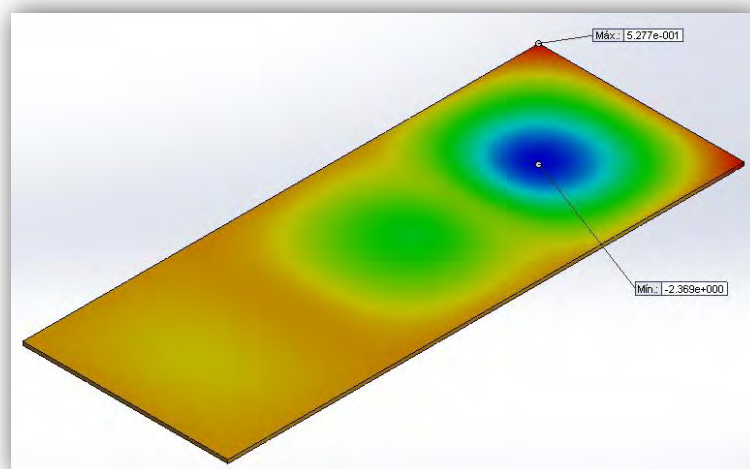


Figura 126. Deformaciones en el tablero para estructura remodificada Caso 6

Vuelve a apreciarse una considerable disminución de la flecha y la tensión máxima, siendo esta vez suficientes. Para el caso 5, de los 4,8 mm que descende el tablero, 0,9 mm se deben a la estructura y el punto de máximo ascenso del tablero (en la esquina) es de 0,5 mm, por lo que cumple con todas las condiciones impuestas. Para el caso 6 los resultados son incluso más bajos.

Además, es fácil apreciar cómo la parte central del tablero, la que se encuentra entre los dos perfiles añadidos, descende mucho menos que los laterales, por lo que aun sería posible aumentar la distancia entre dichos perfiles para disminuir la flecha máxima y homogeneizar las distintas zonas.

Sin embargo, el peso de los tableros estará cerca de los 70 Kg, por encima de lo deseado, por lo que se esperará a ver el resultado de la estructura para tomar una decisión.

### 3.4.2. Análisis de la estructura:

Con todo lo visto anteriormente, la estructura final quedaría así:

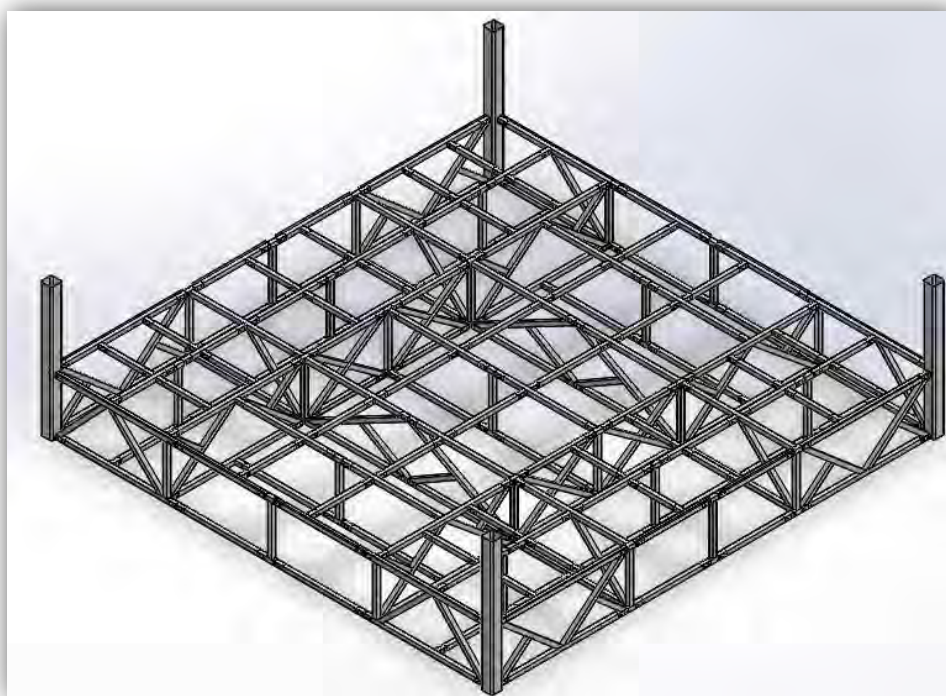


Figura 127. Estructura final del cuadrilátero modelo 2

Las propiedades físicas ascenderían a los valores siguientes:

<b>Peso Total:</b>	<b>4646 Kg</b>
<b>Cantidades:</b>	
Perfil 70x70x5	311 m
Perfil 60x60x5	40 m
Perfil 200x200x5	10 m
Pletina	29 m

Tabla 17. Propiedades físicas del modelo 2

Y los resultados obtenidos:

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
$\sigma_{Von Mises}$ :	47,2 MPa	46,3 MPa	44,8 MPa	48,6 MPa
$\delta_{max\ estruct}$ :	0,3 mm	0.3 mm	0.2 mm	0.1 mm
CS:	8,7	8,8	9,1	8,4

Tabla 18. Resultados del modelo 2

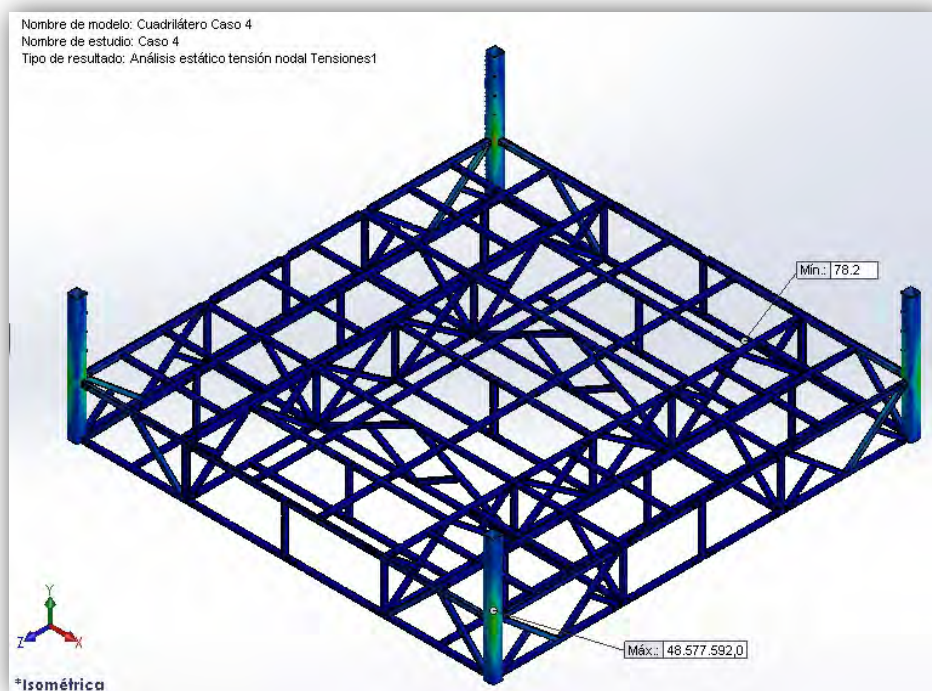


Figura 128. Caso genérico de tensiones en la estructura modelo 2

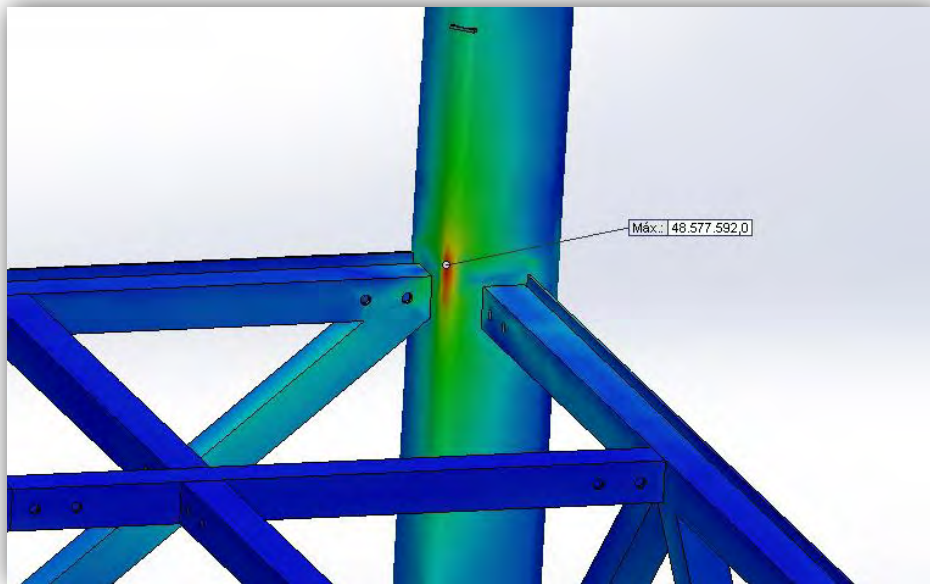


Figura 129. Caso genérico de concentrador de tensiones en la estructura modelo 2

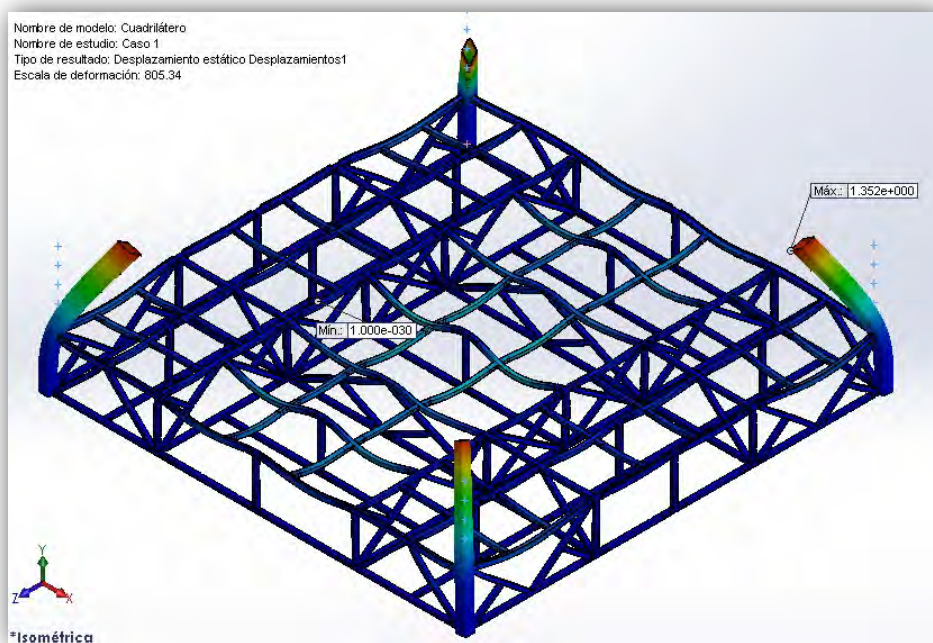


Figura 130. Desplazamientos para el Caso 1 modelo 2

Los resultados obtenidos, tanto esfuerzos como deformaciones, son mejores a los del modelo 1. Sin embargo, modelizar esta estructura tenía por objetivo reducir la cantidad de acero, pero la ha aumentado significativamente (lo que puede explicar el porqué de unos niveles más bajos a los anteriores).



Al igual que en el modelo anterior, todos los casos presentan comportamientos similares entre sí, pero esta vez las tensiones máximas se producen en mitad del poste (ver figura 129), lo que provoca que su zona de afección con el resto del cuadrilátero sea menor. Los perfiles inclinados trabajan bastante más por unirse en el medio de perfiles horizontales, impidiendo su flexión, y de ello se debe que las flechas sean tan bajas. Lo que resulta más llamativo es la forma de deformarse, en la cual la zona más afectada es la central con orientación según el eje Z, ya que se podría pensar que deberían ser las zonas colindantes a los postes (ver figura 130).

Al igual que en los modelos anteriores, se realizará un estudio aparte sin tener en cuenta las cuerdas para entender el comportamiento de la estructura:

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
$\sigma_{Von Mises}$ :	17,4 MPa	14,8 MPa	11,9 MPa	5,8 MPa
$\sigma_{X max}$	-18,9 MPa	-11,5 MPa	-10.7 MPa	-5.9 MPa
$\sigma_{Z max}$	-8,7 MPa	-8,5 MPa	-10.0 MPa	3.9 MPa
$\sigma_{Y max}$	-13,4 MPa	-18,2 MPa	-18.7 MPa	5.0 MPa
$\tau_{XY max}$	-5,5 MPa	-5,2 MPa	4.1 MPa	-2.3 MPa
$\tau_{XZ max}$	4,7 MPa	3,1 MPa	-3.6 MPa	-1.5 MPa
$\tau_{YZ max}$	-6,3 MPa	-6,1 MPa	4.3 MPa	-2.3 MPa
$\delta_{max estruc}$ :	0,3 mm	0.2 mm	0.2 mm	0.1 mm
$\delta_{X max}$	0.03 mm	0.03 mm	0.02 mm	0.02 mm
$\delta_{Z max}$	0.03 mm	0.02 mm	0.04 mm	0.01 mm
$\delta_{Y max}$	0,30 mm	0.20 mm	0.20 mm	0.10 mm

Tabla 19. Resultados del modelo 2 sin el efecto de las cuerdas

A continuación se muestran las imágenes justificativas a dichos resultados:

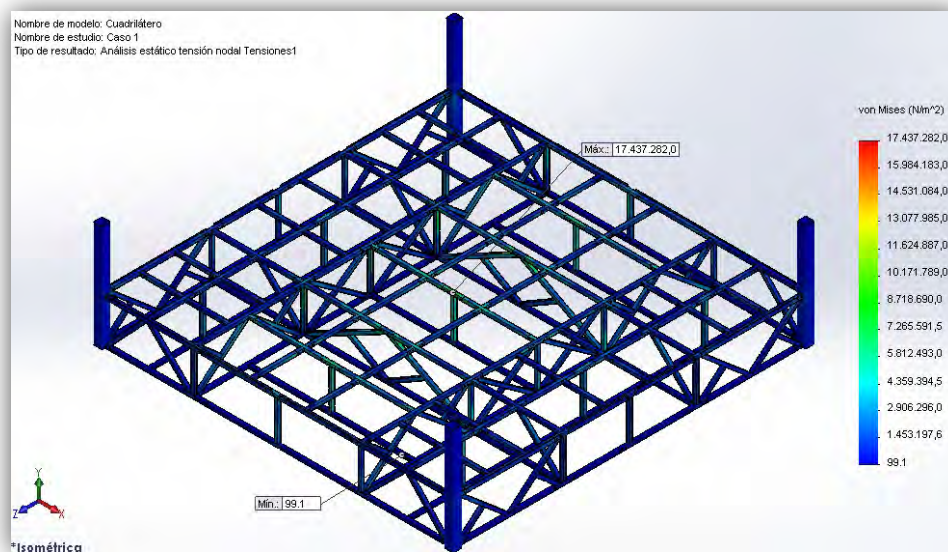


Figura 131. Tensión de Von Mises Caso 1 modelo 2

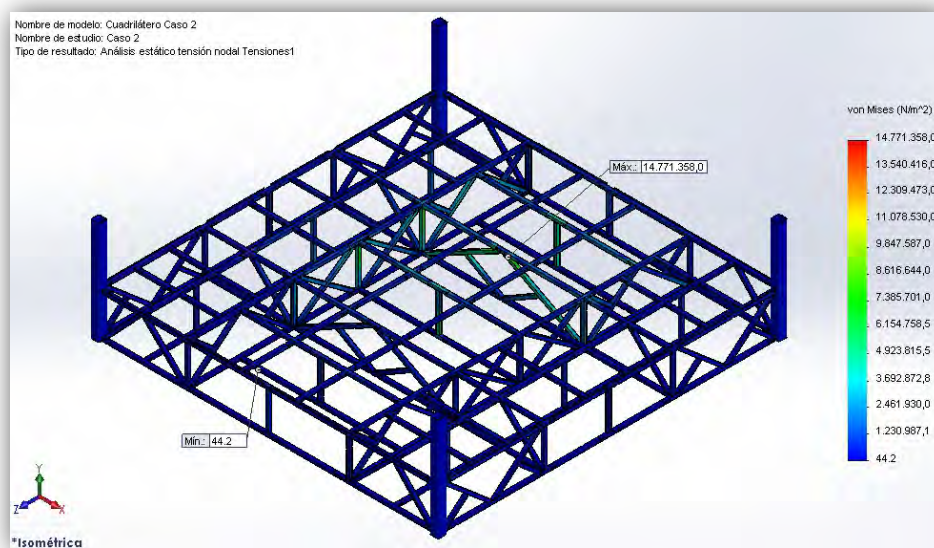


Figura 132. Tensión de Von Mises Caso 2 modelo 2

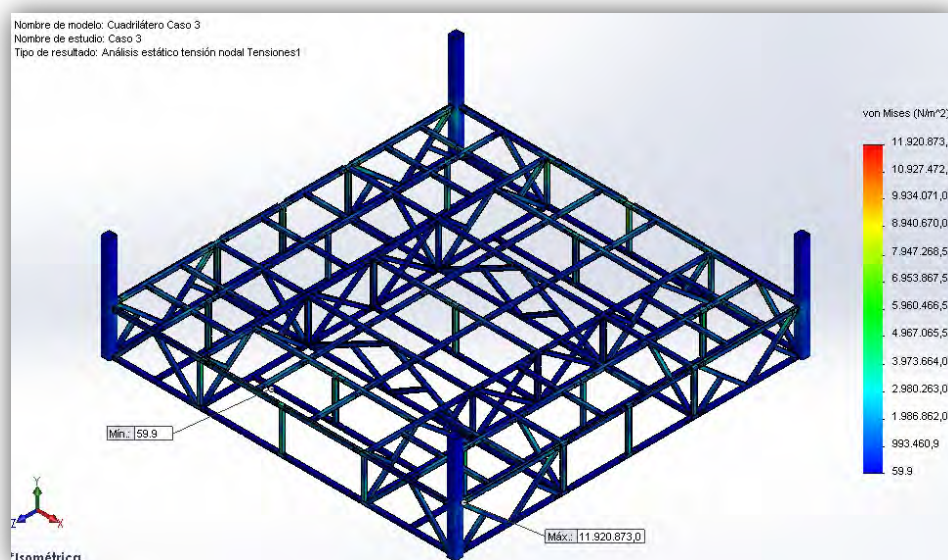


Figura 133. Tensión de Von Mises Caso 3 modelo 2

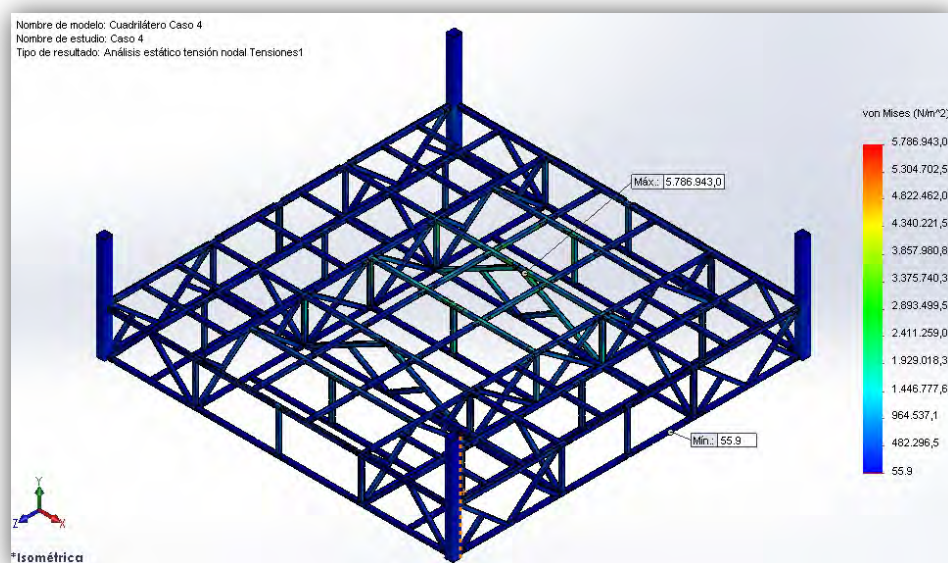


Figura 134. Tensión de Von Mises Caso 4 modelo 2



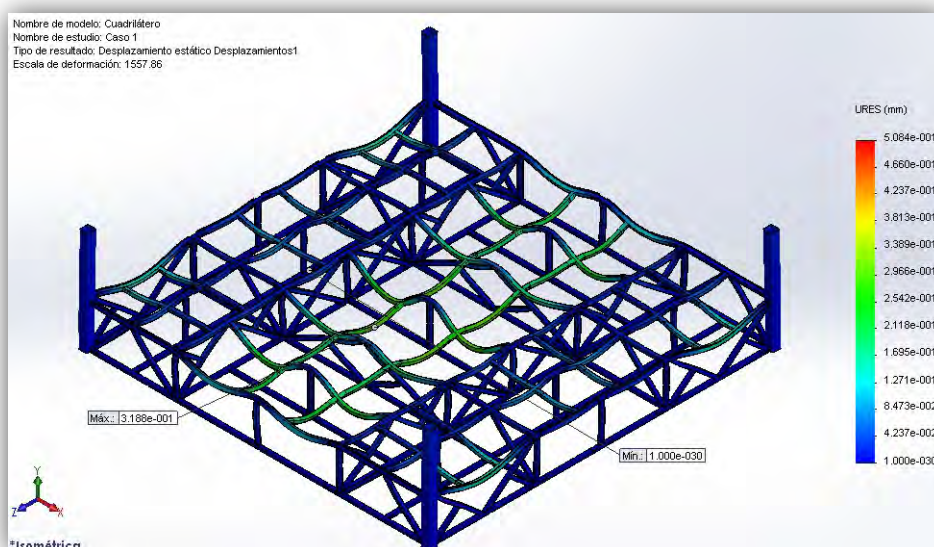


Figura 135. Deformación del cuadrilátero Caso 1 modelo 2

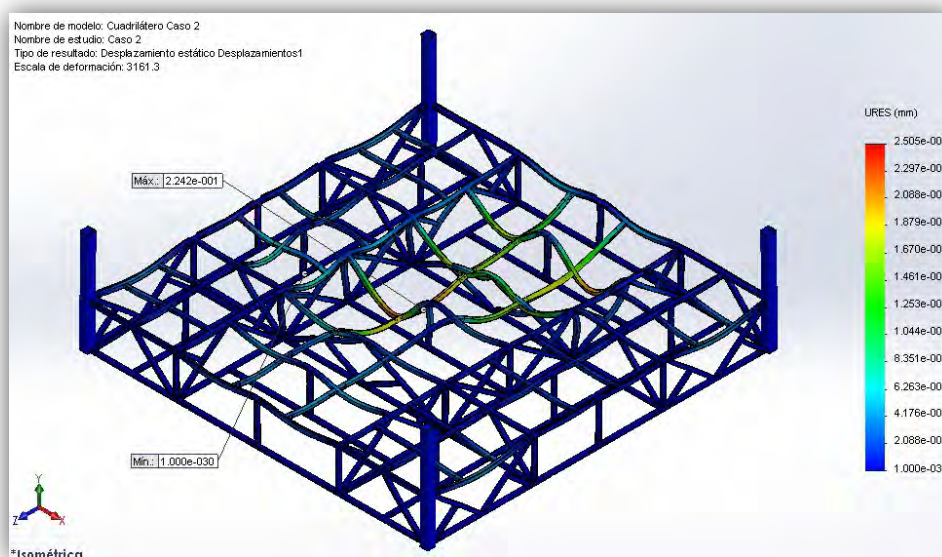


Figura 136. Deformación del cuadrilátero Caso 2 modelo 2

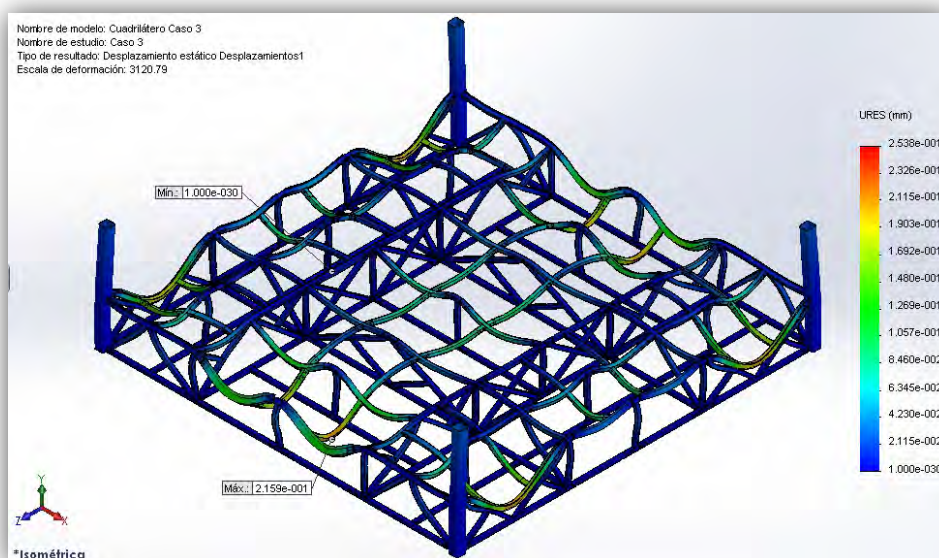


Figura 137. Deformación del cuadrilátero Caso 3 modelo 2

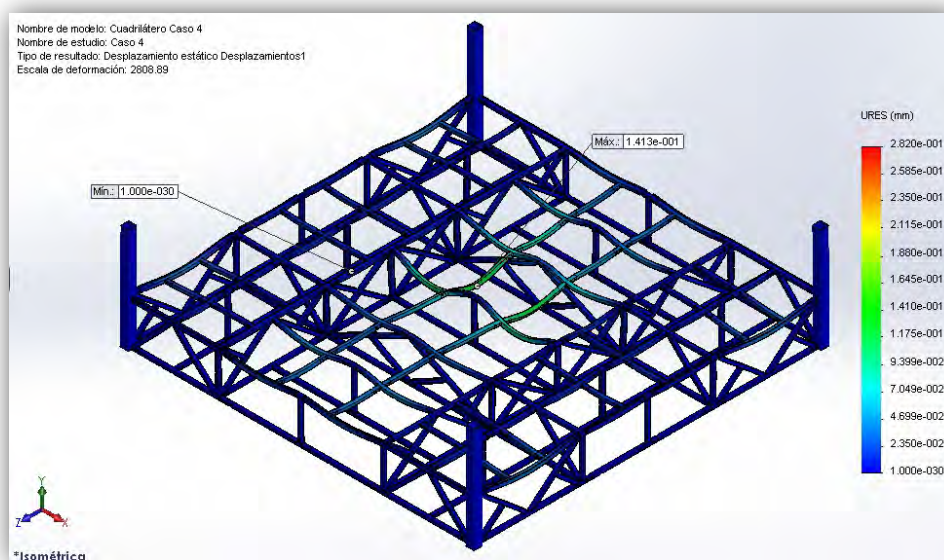


Figura 138. Deformación del cuadrilátero Caso 4 modelo 2

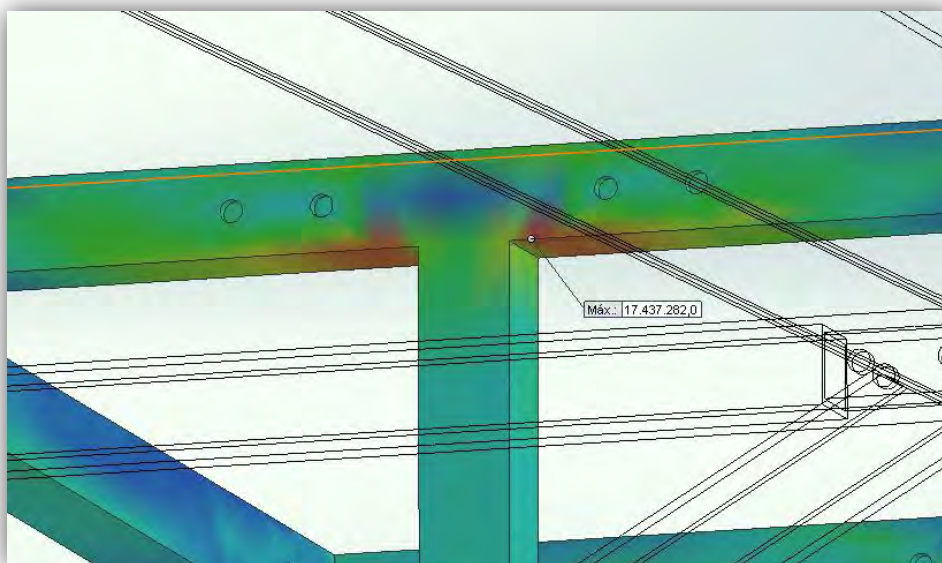


Figura 139. Localización de la máxima tensión Caso 1 modelo 2

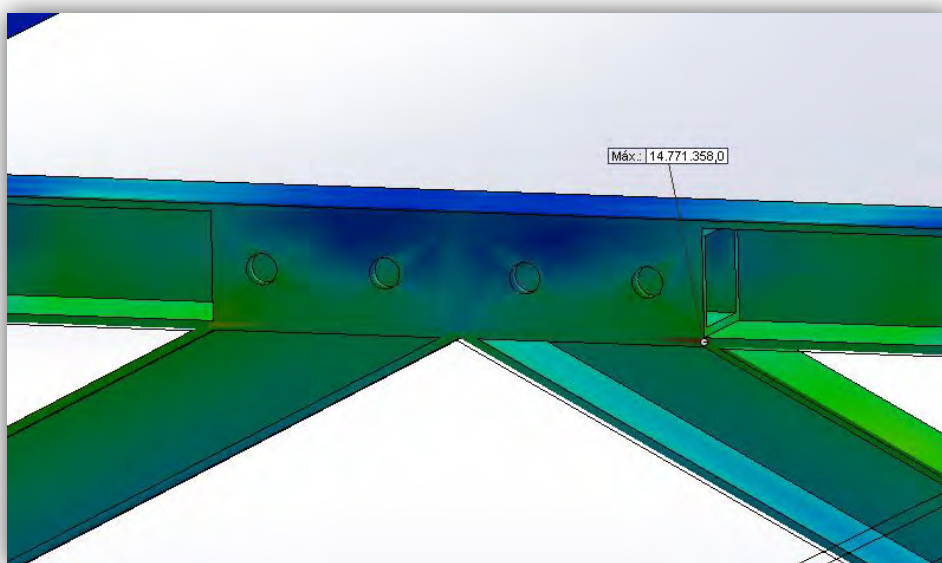


Figura 140. Localización de la máxima tensión Caso 2 modelo 2



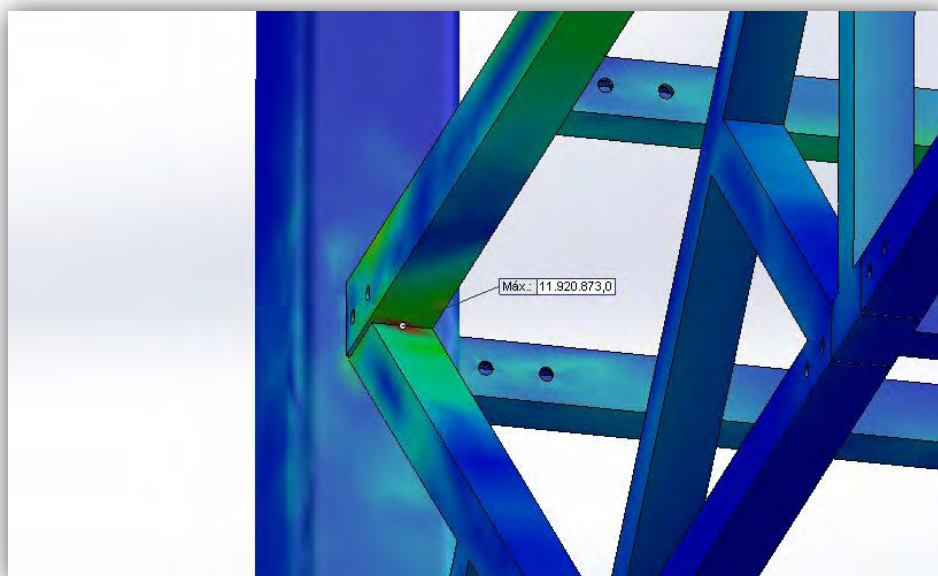


Figura 141. Localización de la máxima tensión Caso 3 modelo 2

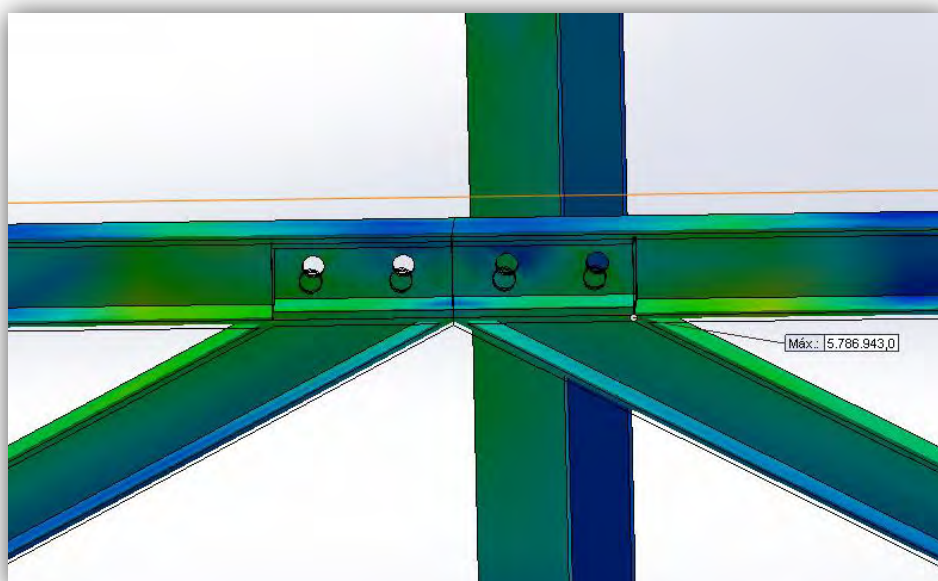


Figura 142. Localización de la máxima tensión Caso 4 modelo 2

Como se empezó comentando anteriormente, se puede observar que las flechas más elevadas se producen siempre en la parte central del ring, debido a que dicha zona se une mediante perfiles horizontales sin apoyo intermedio de un perfil inclinado. Unir los perfiles en la parte intermedia hará que el reparto de tensiones se vea mejor distribuido y los concentradores de tensión sean en zonas de unión de ángulos muy pronunciados.

Sin embargo, localizar ahí la unión duplica los perfiles inclinados, y puesto que los resultados del modelo 1 también eran bajos, que sigan mejorándose no hará que se aprecie la diferencia, pero sí el precio al que se pague el acero de más. Si además se tiene en cuenta el elevado peso de los tableros, el modelo será descartado como solución final.

No obstante, merece la pena observar los resultados para comparar las diferencias entre los dos tipos de uniones que se han empleado. Con este nuevo método no se ha influenciado enormemente en la variación de tensiones, y aunque es cierto que ha producido que alguna concentración máxima se dé entre los perfiles de dentro y fuera que forman la unión debido a alguna deformación, el coeficiente de seguridad es lo suficientemente elevado para que no haya de qué preocuparse. De hecho, al ser ahora piezas independientes y producir en estas las tensiones máximas, de romperse resultaría muy sencillo poder sustituirla por otra, y evitaría que se viera afectado un componente cuyo coste de reposición fuese mucho mayor.

Con todo esto, y el hecho de que facilita mucho el montaje utilizar este nuevo sistema de unión, hace que el modelo 2 sea desechado, pero se tenga en cuenta el sistema para emplearlo en el modelo definitivo que se utilice.

### **3.5. Modelo 3:**

Como se ha podido observar, los problemas que se han presentado hasta el momento vienen debidos a los tableros y el excesivo espacio que se les deja entre apoyos, lo que origina una mayor flecha y tensiones en los bordes que los sostienen. Una primera solución sería aumentar la superficie de apoyo, pero eso supondría aumentar la dimensión del perfil de acero y significaría despilfarrar material y encarecer el producto final, ya que con los perfiles actuales se comprueba que trabajan sobradamente (se podría sustituir por un perfil rectangular, pero para obtener mayor base el perfil tendría que trabajar en su posición más desfavorable). La otra solución es intentar hacer pasar los apoyos por el centro del tablero, que es el punto de máxima flecha, y a su vez seguir manteniendo los extremos.

Bajo estas ideas, se diseñará un nuevo modelo en el que los ejes principales que soportarán la estructura y darán rigidez irán cruzados formando una equis. El resto de perfiles serán apoyos secundarios a los tablonos y ayudarán a los ejes principales a mantener la rigidez.

Los distintos componentes de la estructura se unirán como en el modelo 2 mediante un perfil de 60x60x5 a ambos dos.

Mientras que en el modelo 2 se buscó primero las dimensiones de los tablonos y después se hizo una estructura que lo apoyara, esta nueva configuración obliga a que se haga del revés: teniendo la estructura, se buscarán tableros a medida (como en el modelo 1). Esto hará que muchos tableros deban de pasar por una fase de corte previa, pero el nivel de competencia actual entre los fabricantes de madera ha hecho que estos cortes se realicen de forma gratuita, lo que no supondrá un coste añadido. Por ello, se buscarán dimensiones estándar como 2400x2400xX mm y después se ajustarán a las necesidades. Estos tablonos serán de:

- 1 tablero de 2440x2440x10 mm.
- 4 tableros de 2100x2100x10 mm. con un chaflán de 240 mm. en una esquina.
- 6 tableros de 2100x1795x10 mm. con un chaflán de 575 mm. en una esquina.

Las medidas e información han sido obtenidas de [34] – [42].

El resultado obtenido es el siguiente:

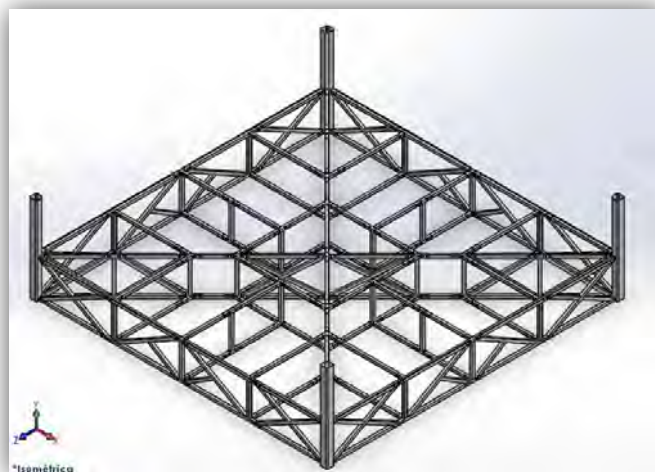


Figura 143. Estructura del cuadrilátero modelo 3



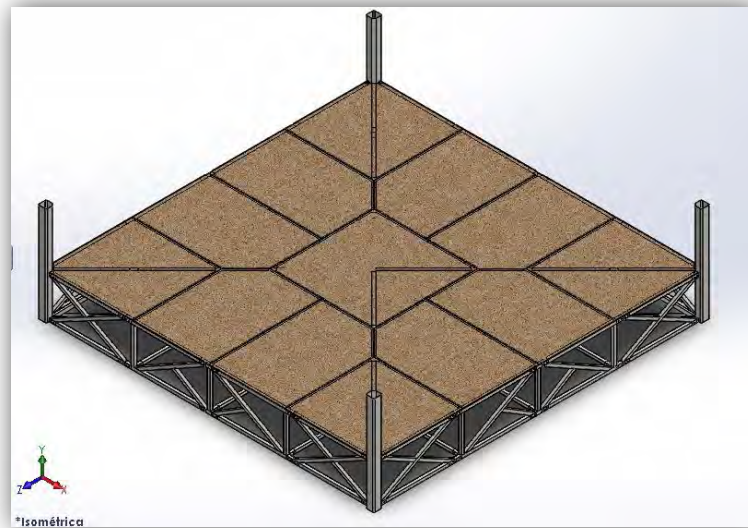


Figura 144. Cuadrilátero modelo 3

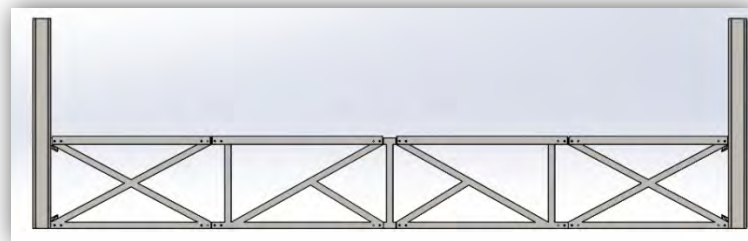


Figura 145. Lateral modelo 3



Figura 146. Sección diagonal modelo 3

### 3.5.1. Análisis del tablero:

Gracias a que por la mayoría de los tableros pasa un perfil por su diagonal, solo será necesario estudiar el comportamiento del tablero de dimensiones 2675x1795 por ser de un tamaño considerable. Con los resultados de los modelos anteriores, se empezará a estudiar directamente un tablero MDF de 24 mm de espesor y la subestructura que se empleará de base será la siguiente:

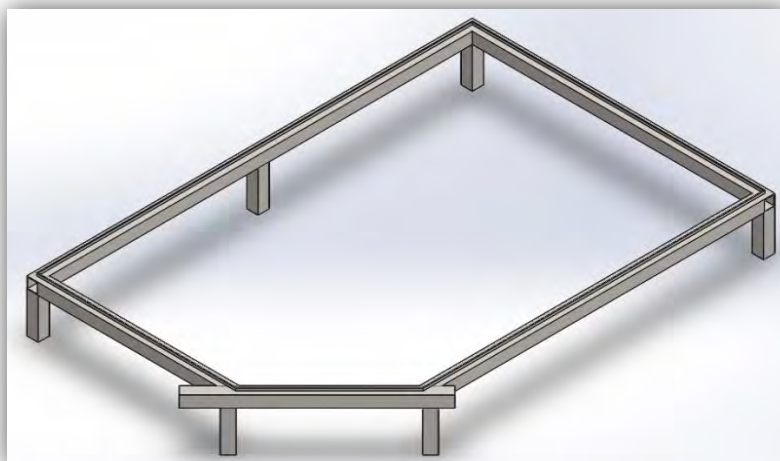


Figura 147. Subestructura de apoyo

Que coincide perfectamente con las dimensiones y apoyos con los que estará en la realidad el tablero, quedando el modelo como se muestra:



Figura 148. Modelo de estudio

Los resultados que se obtienen son los siguientes:

	CASO 5
$\sigma_{\text{Tablero}}$ :	6,9 MPa
$\delta_{\text{max}}$ :	41,0 mm

Tabla 20. Resultados para un tablero prismático MDF de 24 mm

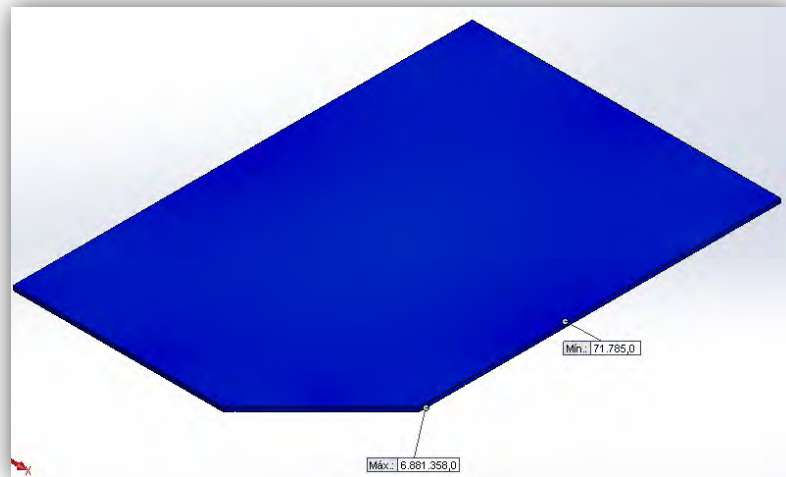


Figura 149. Tensiones en el tablero modelo 3

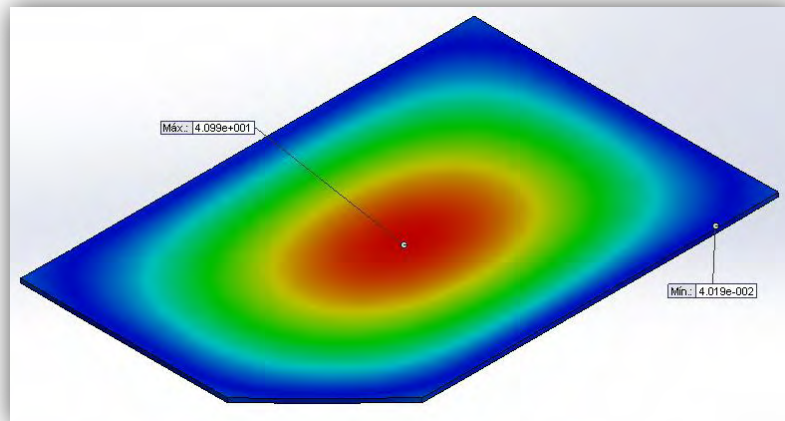


Figura 150. Deformaciones en el tablero modelo 3

Como pasó con el modelo 2, las tensiones en el tablero son minúsculas pero el excesivo espacio entre apoyos provoca un descenso considerable. Se pasará un perfil por el medio para impedir la flecha en ese punto:

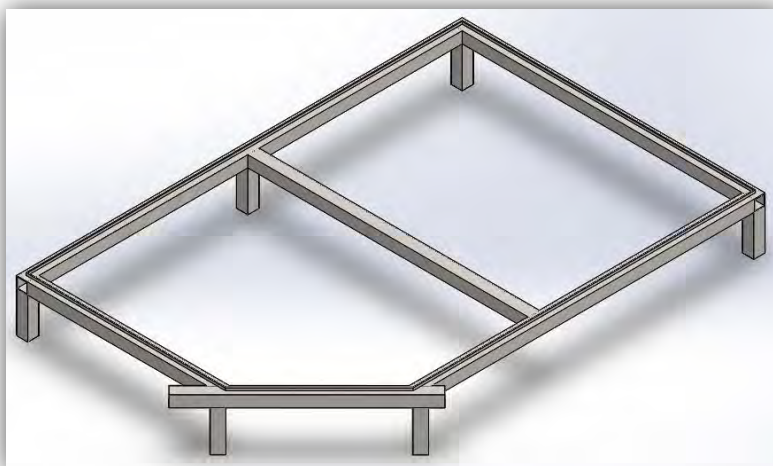


Figura 151. Subestructura de apoyo modificada

Los resultados variarán de la siguiente forma:

	CASO 5
$\sigma_{\text{Tablero}}$ :	3,6 MPa
$\delta_{\text{max}}$ :	7,3 mm

Tabla 21. Resultados para un tablero prismático MDF con apoyado simple

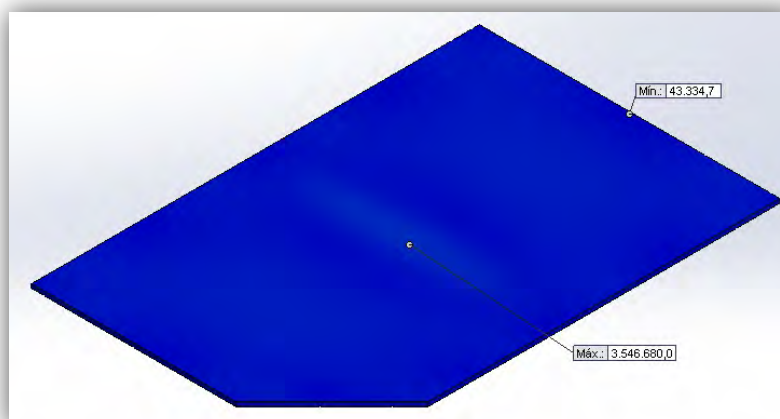


Figura 152. Tensiones en el tablero modelo 3 modificado

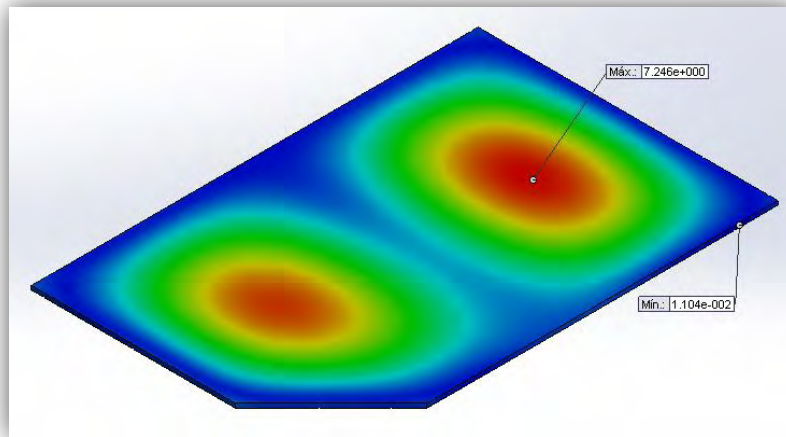


Figura 153. Deformaciones en el tablero modelo 3 modificado

La flexión ha sido restringida mucho, pero aún sigue estando por encima de los límites permitidos. Con un comportamiento muy parecido al del modelo 2 (debido a la gran similitud de los tableros), se introducirán dos perfiles en vez de uno de la siguiente manera:

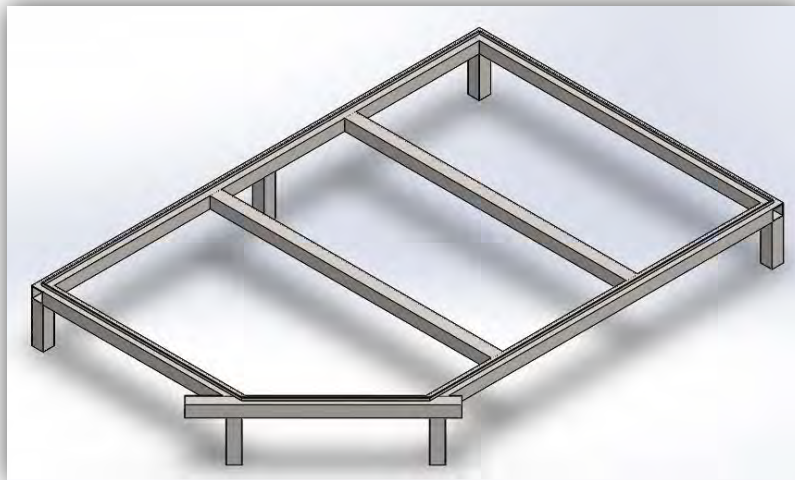


Figura 154. Subestructura de apoyo remodificada

Y los resultados son los siguientes:

	CASO 5	CASO 6
$\sigma_{\text{Tablero:}}$	1,85 MPa	1,38 MPa
$\delta_{\text{max:}}$	1,55 mm	1,19 mm
$CS:$	11	15
$\text{Peso:}$	61 Kg	

Tabla 22. Resultados para un tablero prismático MDF con doble apoyado



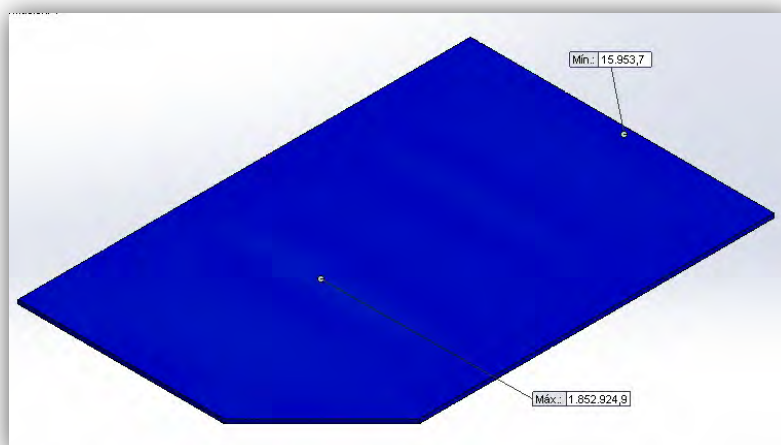


Figura 155. Tensiones en el tablero modelo 3 remodificado Caso 5

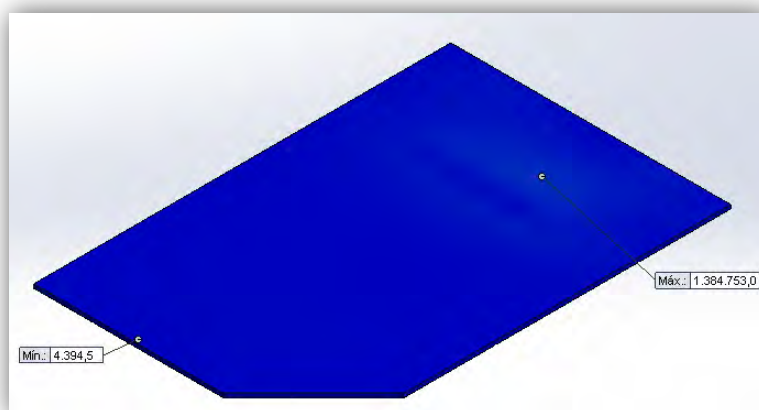


Figura 156. Tensiones en el tablero modelo 3 remodificado Caso 6

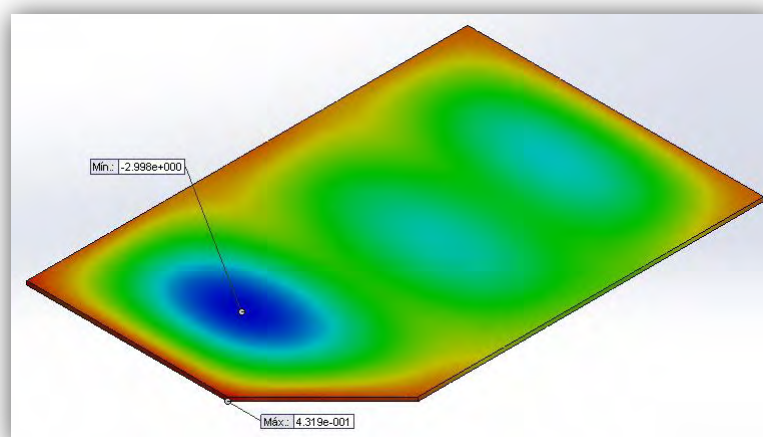


Figura 157. Deformaciones en el tablero modelo 3 remodificado Caso 5



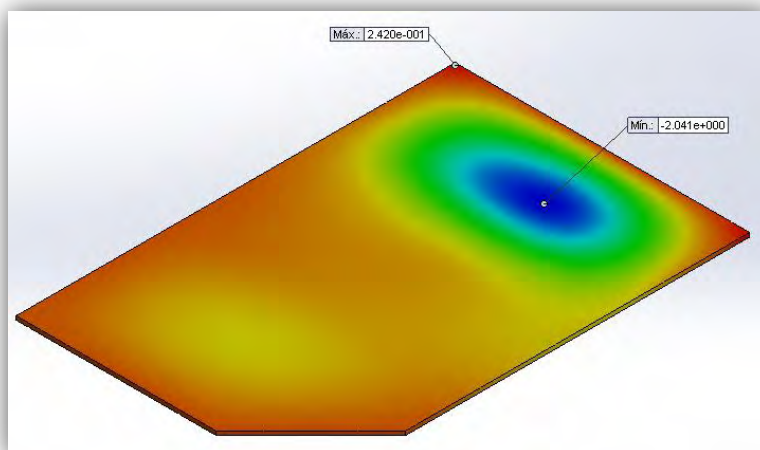


Figura 158. Deformaciones en el tablero modelo 3 remodificado Caso 6

Al igual que en el modelo 2, usando dos apoyos extras se consigue controlar el descenso. Para el caso 5, de los 3 mm que desciende, 1,5 mm son de la estructura y para el caso 6, de los 2 mm; 0,9 son del acero. Además, en ningún caso se levanta el tablero más de 0,5 mm en la periferia, por lo que cumple con todo lo impuesto hasta el momento (el peso del tablero se pasa por muy poco del impuesto, así que no se tendrá en cuenta).

Sin embargo, debido a la geometría del modelo, la incorporación de estos dos nuevos perfiles dificultará muchísimo el montaje.

### 3.5.2. Análisis de la estructura:

La estructura, tras todos estos cambios, queda de la siguiente forma:

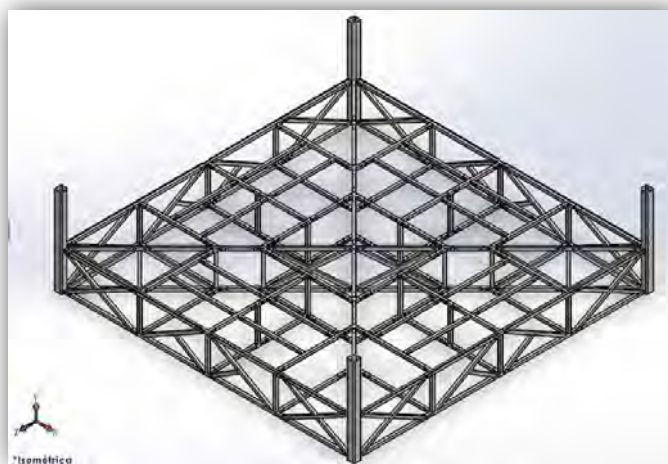


Figura 159. Estructura final del cuadrilátero modelo 3

Donde sus propiedades físicas son:

<b><i>Peso Total:</i></b>	<b>4762 Kg</b>
<b><i>Cantidades:</i></b>	
<i>Perfil 70x70x5</i>	320 m
<i>Perfil 60x60x5</i>	31 m
<i>Perfil 200x200x5</i>	10 m
<i>Pletina</i>	30 m

Tabla 23. Propiedades físicas del modelo 3

Sin embargo, no será necesario obtener resultados para este modelo. De entre todos los realizados, es el que más acero emplea, lo que ya es motivo para descartarlo, y aunque la idea inicial de formar una estructura interior en cruz es buena (ya que aparentemente da más estabilidad al conjunto), el resultado ha sido una geometría de muy difícil montaje que debido a las uniones a 45° requiere de mucha más precisión en su construcción, y posiblemente sea foco de concentración de tensiones.

Por todo ello, se descartará este modelo también como posible solución.

### 3.6. Resultados:

Como resumen de todo lo realizado hasta el momento, el modelo con el que se continuarán los siguientes cálculos será el 1.

Los modelos 2 y 3 han terminado siendo descartados, dejando claro que la mejor distribución posible es aquella que busque un reparto equilibrado de los perfiles con uniones lo más sencillas posible.

De entre las distintas modalidades del modelo 1, la **1.2** es la que menos material emplea y, puesto que los resultados de las tres versiones son igual de satisfactorios, dicha diferencia será suficiente para elegir.

Lo que sí se aplicará, será el tipo de unión que se realizó en el modelo 2 que, aunque incrementa un poco la cantidad de perfiles de 60x60, facilita muchísimo el posterior montaje, obtención de piezas de recambio y ayuda a reducir costes y mantenimiento al disminuir la cantidad de soldaduras. No se harán más modificaciones en las componentes porque, aunque se tiene un foco claro de concentrador de tensiones en la

unión con los postes, no son valores muy elevados y puede ser usado como chivato para ver rápidamente el estado del cuadrilátero (el primer punto donde fallará será este y con suficiente diferencia conforme al resto de componentes).

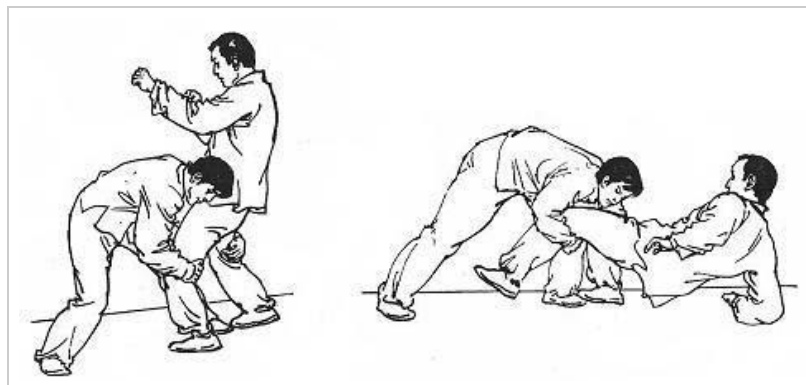
Con ello se pasará a la siguiente fase, el estudio dinámico.

#### 4. ESTUDIO DINÁMICO:

Debido a la gran variedad de combates que intenta abarcar este diseño, hace falta tener en consideración otra serie de esfuerzos que pueden ser incluso más perjudiciales que los estáticos para el modelo. Dichos esfuerzos se diferencian de los del apartado anterior por aplicarse en un periodo muy breve de tiempo, lo que modifica el comportamiento de los materiales y, con ellos, las tensiones y deformaciones producidas (materiales que frente a cargas estáticas presentan un comportamiento dúctil, ante una dinámica puede ser frágil).

Los dos esfuerzos principales a los que se puede ver sometido el cuadrilátero son los siguientes:

- a) Impactos: Este tipo de sollicitación se producirá por la caída de uno de los contrincantes contra el suelo. Aunque bien es posible que se origine por la pérdida de equilibrio de uno de ellos al realizar una patada, lo más frecuente es que se deba a la proyección que realice uno sobre otro, lo que origina grandes fuerzas contra los tableros. Además, dichos impactos pueden originar en la estructura efectos vibratorios, que de ser muy prolongados, pueden hacer entrar el conjunto en resonancia y colapsar el cuadrilátero.



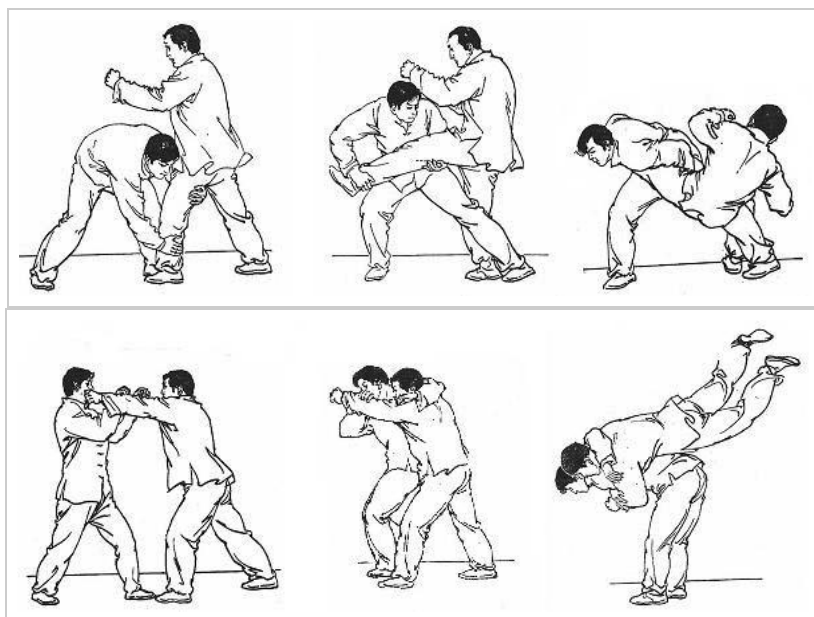


Figura 160. Distintas proyecciones llevadas a cabo durante un combate [59]

También se deberán estudiar los impactos sobre las cuerdas ya que, aunque estas están estandarizadas y se compran sin problemas, sus esfuerzos se transmiten a los postes y un fallo en estos puede echar abajo la estructura.

- b) Cargas fluctuantes: Son cargas de menor valor que las de impacto, pero que se producen durante mucho más tiempo que las primeras, pudiendo provocar problemas de resonancia con mayor facilidad que los anteriores. Estas se producen por el continuo cambio de peso que realiza un combatiente entre un pie y otro y por su movimiento en el cuadrilátero a lo largo de la pelea.

Por todo ello, el primer paso a realizar será calcular las frecuencias modales del conjunto para determinar si pudiera darse el caso de entrar en resonancia, pero para ello será necesario determinar los datos de partida que se usarán.

#### 4.1. Datos de Partida:

El primer dato importante es determinar la altura de impacto. Aunque ya se habló en su momento de no tener en cuenta a luchadores de más de 120 Kg, la altura de estos puede variar significativamente y además, son muchas las distintas formas en las que se puede proyectar a una persona. La proyección desde la que más alto se puede lanzar a una contrincante es cuando se le lanza por encima del cuerpo del Nague (término japonés

usado en el aikido para denominar al defensor) y, puesto que no realiza la técnica totalmente recto, sino que ha de flexionarse para obtener una buena base y aplicar bien la técnica, esta altura  $H$  se considerará de 1,6 m.

Los siguientes datos importantes en los futuros cálculos, aceleración producida por la llave (a) y el tiempo de impacto (T), son más complicados de conseguir. La toma de datos experimentales es laboriosa y hay pocos estudios realizados hasta el momento; esto se debe a la infinidad de posibles resultados que se pueden obtener según el peso, técnica realizada o habilidad del Nague, por no mencionar el despliegue técnico que requeriría un estudio riguroso. Sin embargo, se pueden encontrar algunos estudios de biomecánica relacionados con las artes marciales del que poder deducir estos valores, y que pueden servir como valor medio de lo que andamos buscando de una forma muy fidedigna.

Del primer estudio [6] obtendremos un valor para la aceleración según los ejes cartesianos en el momento del impacto mediante dos llaves distintas de judo. Ambas se aplican lanzando al Uke (término japonés empleado en el aikido para referirse al atacante) por encima de él mismo. Para la primera llave, Seogi Nague, el estudio graba los siguientes resultados:



Figura 161. Proyección Seogi Nague obtenida del estudio [6]

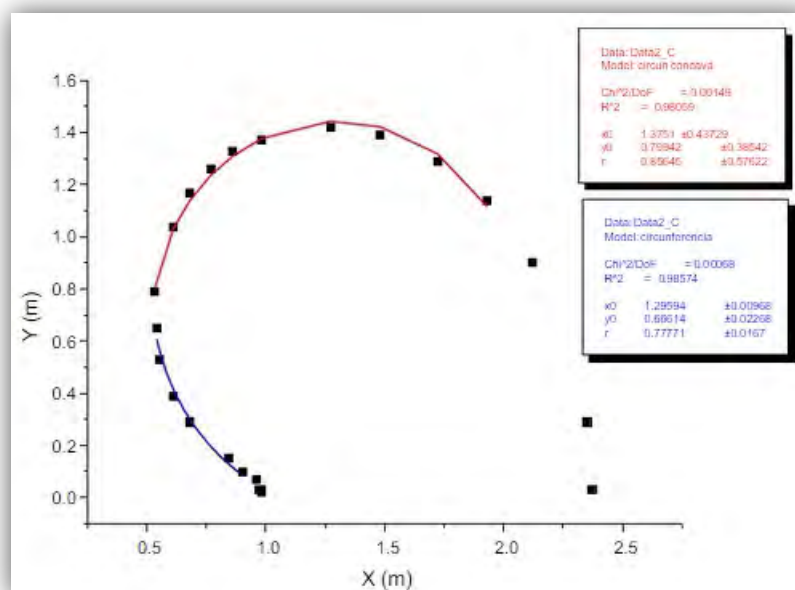


Figura 162. Gráfica del movimiento obtenida del estudio [6]

Y las ecuaciones de movimiento:

$$X(t) = 8,1768t^2 - 5,8719t + 1.6162$$

$$Y(t) = -25,481t^3 + 30,228t^2 - 7,8244t + 0,7492$$

Que corresponden a los siguientes valores:

T (Tiempo)	X (Distancia)	Y (Altura)
s	m	m
0	0,98	0,02
0,04	0,98	0,03
0,08	0,97	0,03
0,12	0,96	0,07
0,16	0,90	0,10
0,2	0,84	0,15
0,24	0,68	0,29
0,28	0,61	0,39
0,32	0,55	0,53
0,36	0,54	0,65
0,4	0,53	0,79
0,44	0,61	1,04
0,48	0,68	1,17
0,52	0,77	1,26
0,56	0,86	1,33
0,6	0,98	1,37
0,64	1,27	1,42
0,68	1,48	1,39
0,72	1,72	1,29
0,76	1,93	1,14
0,8	2,12	0,90
0,84	2,35	0,29
0,88	2,37	0,03

Tabla 24. Valores de los desplazamientos según tiempo obtenidos de [6]



De todo esto podemos deducir la aceleración en las direcciones X e Y derivando dos veces las ecuaciones de movimiento:

$$a_x(t) = 16,3536 \text{ m/s}^2$$

$$a_y(t) = -152,76t + 60,456 \text{ m/s}^2$$

Que para  $t = 0,88$  seg. resultan:

$$a_x(0,88) = 16,3536 \text{ m/s}^2$$

$$a_y(0,88) = -73.9728 \text{ m/s}^2$$

De igual manera, para la segunda proyección realizada, Sode Suri Komi Goshi, los resultados dieron las siguientes aceleraciones:



Figura 163. Proyección Sode Suri Komi Goshi obtenida del estudio [6]

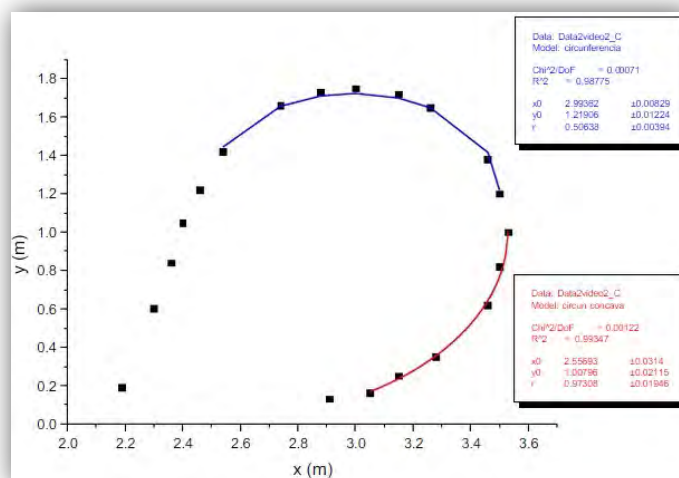


Figura 164. Gráfica del movimiento obtenida del estudio [6]

Para esta proyección, el tramo rojo corresponde al momento en que el Uke es cargado a la espalda, el azul al momento en que se le rota sobre esta para prepararlo y el tramo de puntos final es el tramo donde se le aplica aceleración para lanzarlo contra el suelo. Por tanto, será de este último tramo del que obtengamos la ecuación de movimiento:

$$X(t) = -67,998t^3 + 132,96t^2 - 87,722t + 21,91$$

$$Y(t) = -140,34t^3 + 263,02t^2 - 168,53t + 37,963$$

Y tras derivar:

$$a_x(t) = -408t + 265,92 \text{ m/s}^2$$

$$a_y(t) = -842,04t + 526,04 \text{ m/s}^2$$

Que para el tiempo  $t = 0,76$  seg. da:

$$a_x(0,76) = -44,16 \text{ m/s}^2$$

$$a_y(0,76) = -114 \text{ m/s}^2$$

*\*Nota aclaratoria: Resulta raro creer que el cuerpo humano puede estar sometido a 11G. Sin embargo, a continuación se exponen algunos ejemplos cotidianos que demuestran que de hecho, no es un valor elevado. La resistencia que el cuerpo humano tiene a las fuerzas G viene dado por la resistencia del cerebro y la de los tejidos blandos, dependiendo tanto de la magnitud de la fuerza, como de su dirección y duración.*

*El récord de resistencia ante una fuerza vertical lo ostenta el Dr. R. Franagan Gray de la NASA al soportar 31,25G en un tanque de agua presurizada. El record ante una aceleración horizontal lo tiene el coronel estadounidense John Stapp con 46,2G en experimentos de propulsión basados en cohetes. Toser produce una fuerza de 3,5G y un estornudo 2,9G. Una fuerte palmada en la espalda puede producir 4,1G y una atracción como la montaña rusa La Furia de Baco (en España) alcanza 4,7G. Por último, el accidente de Robert Kubica en Canadá (2007) tuvo un pico de 75G durante un milisegundo mientras que el de Ralf Schumacher en Indianápolis fue de 72G.*

El último tipo de impacto que se estudiará es el que se realiza mediante una colisión horizontal, es decir, el Uke no es cargado y lanzado desde una altura elevada, sino que es el Nague el que se adelanta al movimiento del otro y lo proyecta mediante el desequilibrio, de manera que el Uke no llega a levantarse del suelo, sino que cae directamente por el peso del otro (parecido a un placaje en rugby). Para estos cálculos se recurrirán a estudios de placajes hechos en rugby, donde si bien es cierto que el desarrollo del impacto entre cuerpos no es el mismo (no se presenta un cuerpo que oponga resistencia al otro y tampoco hay distancia para coger carrerilla) la colisión contra el suelo es semejante.



Figura 165. Proyección ante carga horizontal [28]

Del estudio [8] obtenemos:

$$a = 65 \text{ m/s}^2$$

Sin embargo, el valor a usar no distingue entre direcciones principales, lo que obliga a tener que suponer qué porcentaje de ese valor corresponde a cada eje. Puesto que hay una caída libre, parte de la aceleración es proporcionada por la gravedad, por lo que se supondrá un 70-30% a favor de la fuerza horizontal aplicada. Esto supone:

$$a_x = 45 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = 20 \text{ m/s}^2$$

Obtenidas las aceleraciones que se soportan en una proyección, y sabiendo la masa de los luchadores, ya es posible calcular la fuerza producida en el momento del impacto. Como se tendrán en cuenta dos casos de estudio, el de un impacto puramente vertical, y

el de uno combinado con aceleraciones horizontales y verticales, para el caso vertical se usará la  $a_y$  mayor de todas las obtenidas anteriormente, mientras que para la combinada se escogerá la mayor  $a_x$  obtenida, pero se emparejará con el  $a_y$  del tercer estudio. Además, para el cálculo de las fuerzas combinadas, se duplicará la masa empleada hasta el momento para reflejar que muchas veces, ambos combatientes van al suelo, lo que hace que sea mayor esta fuerza que la que se produciría con la aceleración horizontal de la segunda proyección.

$$F_{1Y} = 120 * 114 = 13680 \text{ N}$$

$$F_{2X} = 240 * 45 = 10800 \text{ N}$$

$$F_{2Y} = 240 * 20 = 4800 \text{ N}$$

Solo falta calcular la duración del impacto. Para ello se recurrirá a los resultados de [7], que muestran la ejecución de la técnica Kokyu Nague, de aikido, grabada mediante fotogrametría a varios sujetos de cinturón negro.



Figura 166. Técnica Kokyu Nague obtenida de [7]

Las gráficas obtenidas son las siguientes:



Figura 167. Gráfica del desplazamiento vertical en función del horizontal obtenido de [7]

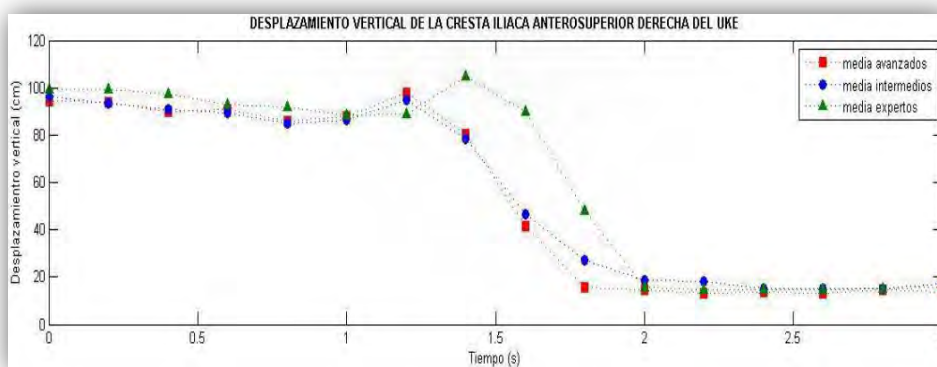


Figura 168. Gráfica del desplazamiento vertical en función del tiempo obtenido de [7]

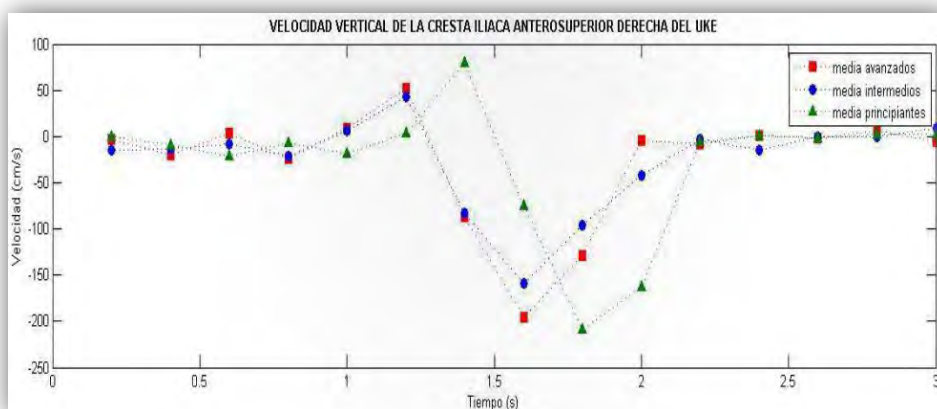


Figura 169. Gráfica de la velocidad vertical en función del tiempo obtenido de [7]

Utilizando siempre la gráfica de puntos rojos como referencia, puede observarse en la Figura 168 que el momento del impacto se produce en  $t = 1,8$  seg y que dicho movimiento no se detiene hasta  $t = 2$  seg. A partir de ese momento se aprecian ligeras variaciones en la velocidad, pero son fruto del movimiento que el Uke hace con la cadera.

Por tanto, el tiempo de impacto para el caso vertical valdrá  $T = 0,2$  seg.

Para la duración del impacto combinado, ha sido necesario recurrir a vídeos encontrados en internet de diferentes combates [73]-[75] y estimar este como una media de los tiempos apreciados mediante la barra de tiempos del vídeo.

El tiempo para impactos ante una carga combinada es  $T = 0.3$  seg.

Solo queda por estimar el tiempo para las cargas fluctuantes. De igual forma que para el caso combinado, se puede estimar que el tiempo transcurrido en el desplazamiento del peso de un pie a otro, o en el desplazamiento del combatiente por el cuadrilátero es de  $T=1$  seg.

Ahora que ya se poseen todos los datos necesarios, se puede empezar a realizar los distintos análisis dinámicos.

## **4.2. Frecuencias Naturales:**

Todo cuerpo, debido a su configuración geométrica, asignación de secciones, distribución de masas, rigideces y sistemas de amortiguamiento, tiene como mínimo una forma característica de oscilar que se la conoce como frecuencia natural ( $f_i$ ). Esta oscilación o modo de vibrar no es un desplazamiento real, sino una posibilidad de oscilación inherente al sistema de manera que una deformación es una combinación lineal de todos los modos de vibrado.

Ante un esfuerzo periódico, la carga o cargas que se aplican presentarán también su propia frecuencia y es ahí donde se puede producir el problema, ya que si ambas frecuencias (la natural del cuerpo y la de la carga) coinciden, el resultado es una magnificación de la flecha, pudiendo producirse el colapso del cuerpo si se continua



---

bajo esa situación por mucho tiempo. Si tal caso ocurriera, se diría que el cuerpo ha entrado en resonancia.

Dichos modos de vibrado van asociados a un porcentaje de la masa del cuerpo, de manera que suelen bastar los 3 o 4 primeros modos, por ser los de mayor porcentaje de masa, para estudiar el fenómeno de la resonancia.

Por tanto, resulta de crucial importancia conocer las frecuencias naturales del conjunto para saber si, para las cargas anteriormente mencionadas, puede darse el caso de que la estructura se rompa, o simplemente empiece a deformarse excesivamente y a producir inestabilidades en el combate.

El primer problema que se presenta es que el conjunto del cuadrilátero está formado por tableros de madera y perfiles de acero, ambos con sus propias frecuencias naturales (que son las que se buscan) pero que se pueden ver camufladas por otras propias del conjunto. Bastaría ver el modo de vibración de cada frecuencia para poder discernir qué frecuencias corresponden a cada elemento, pero como se comentó en el Apartado 2.3, SolidWorks muestra otros resultados para las distintas frecuencias siendo, por tanto, necesario manipular cuidadosamente el sistema para obtener dichas frecuencias sin falsear los resultados.

Como se explicó al comienzo de este apartado, las frecuencias naturales de un elemento son influidas por las condiciones de contorno, y esto hace que no se puedan obtener los modos de los elementos si se estudiasen individualmente, sino que tendrán que estudiarse en conjunto. Ahora bien, si se consiguiera que al estudiar uno de los elementos, las frecuencias de los restantes no influyeran, se obtendrían los propios al elemento buscado. Sabiendo que:

$$f_i = \frac{w_i}{2\pi} = \frac{\sqrt{K/m}}{2\pi} \quad (1)$$

$$K = \frac{F}{\delta} = E * A \quad (2)$$

Queda que:

$$f_i = \frac{w_i}{2\pi} = \frac{\sqrt{E*A/m}}{2\pi}$$

$f_i \equiv$  frecuencia natural  
 $w_i \equiv$  frecuencia angular  
 $K \equiv$  cte. de rigidez  
 $m \equiv$  masa  
 $K \equiv$  fuerza aplicada  
 $\delta \equiv$  deformación  
 $E \equiv$  módulo elástico  
 $A \equiv$  área de la sección

De manera que si se aumentase enormemente E y A y se disminuyera la densidad del elemento del que no se quieren obtener las frecuencias, se conseguiría incrementar llamativamente el valor de la frecuencia de dicho elemento, obteniendo por tanto frecuencias que se alejarían mucho de las principales del otro y no darían cabida a equivocación. Lo que se consigue con esto realmente es obtener un elemento mucho más rígido y unas deformaciones mucho menores.

Para los siguientes análisis se usarán los valores  $E = 10^{20}$  MPa;  $\rho = 0,01$  Kg/m<sup>3</sup> y para el estudio de las frecuencias del tablero, los perfiles de acero no serán huecos. Además, puesto que el objetivo es que los pesos del entorno no influyan, dichos análisis se realizarán sin tener en cuenta la presión que produce el caucho y el peso de las cuerdas (aunque si la tensión que transmiten sobre los postes debido a su montaje).

Los resultados son los siguientes:

	Tablero	Estructura
$f_1$	82,3 Hz	86,3 Hz
$f_2$	82,5 Hz	86,6 Hz
$f_3$	104,9 Hz	86,6 Hz
$f_4$	105,2 Hz	86,9 Hz
$f_5$	145,6 Hz	87,1 Hz
$f_9$	214,5 Hz	176 Hz

Tabla 25. Frecuencias naturales

Los resultados son muy llamativos. Los altos valores que se observan para las frecuencias modales demuestran que tanto la estructura como el tablero serán muy rígidos. En el caso del tablero, dada su naturaleza y restricciones de contorno, para las 15 primeras frecuencias sus movimientos serán puramente verticales (ver figura 170),

presentándose una mayor deformación de este según aumentan los Hercios. La estructura, por el contrario, presentará deformaciones más variadas, que si bien al principio se producen en los postes por ser los elementos más libres, según se incrementen los modos harán entrar en juego a los perfiles inclinados, obteniendo a partir de la novena frecuencia modal, deformaciones ya horizontales (ver figura 171).

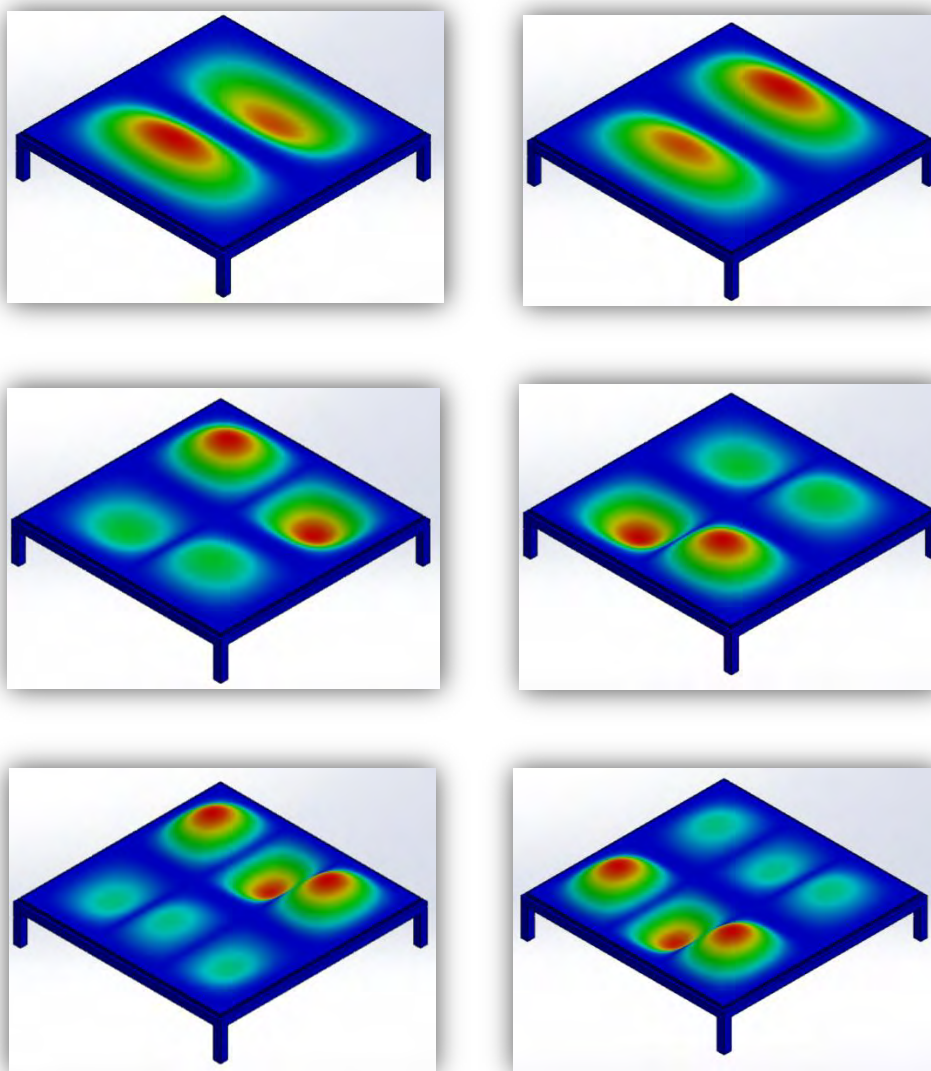


Figura 170. De izquierda a derecha y de arriba a abajo, deformaciones modales del tablero para las distintas frecuencias naturales en orden creciente

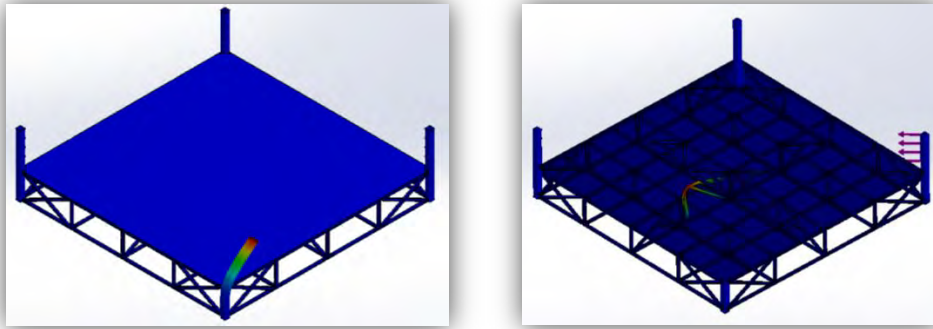


Figura 171. De izquierda a derecha, deformaciones en la estructura para frecuencias modales crecientes

Solo queda calcular la frecuencia natural de los estados de carga. Para cargas dinámicas periódicas, bastaría con aplicar  $T = \frac{1}{f}$ , pero para algunos de los casos de estudio, como son los impactos, esto no es del todo cierto debido a que no presentan un periodo como tal, sino que son un estado tensional puntual. Por tanto, habrá que estudiar cada situación.

Para los impactos debidos al movimiento, donde se supone un ritmo constante durante algunos segundos, bastará con aplicar la fórmula, obteniendo una  $f_{\text{mov}} = 1 \text{ Hz}$ .

De [9] y [10] se puede ver que, para los impactos debidos a una proyección vertical o combinada, será necesario descomponer la función que define dicho impacto en el espectro de frecuencias mediante la Transformada de Fourier, y obtener de este la frecuencia para la que se almacena mayor cantidad de energía. Para ello, se empleará la herramienta Matlab que permite realizar rápidamente dicha operación mediante datos discretos (por supuesto obtenidos de las funciones que definen la carga) siempre que el número de valores introducidos sea potencia de 2.

Las gráficas carga-tiempo que definen ambos impactos son:

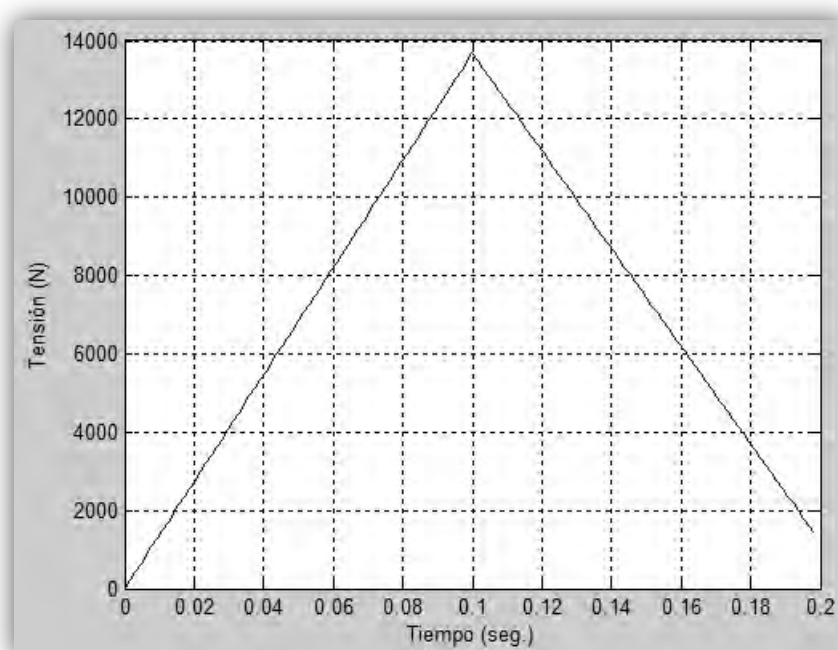


Figura 172. Gráfica tensión-deformación para el impacto vertical

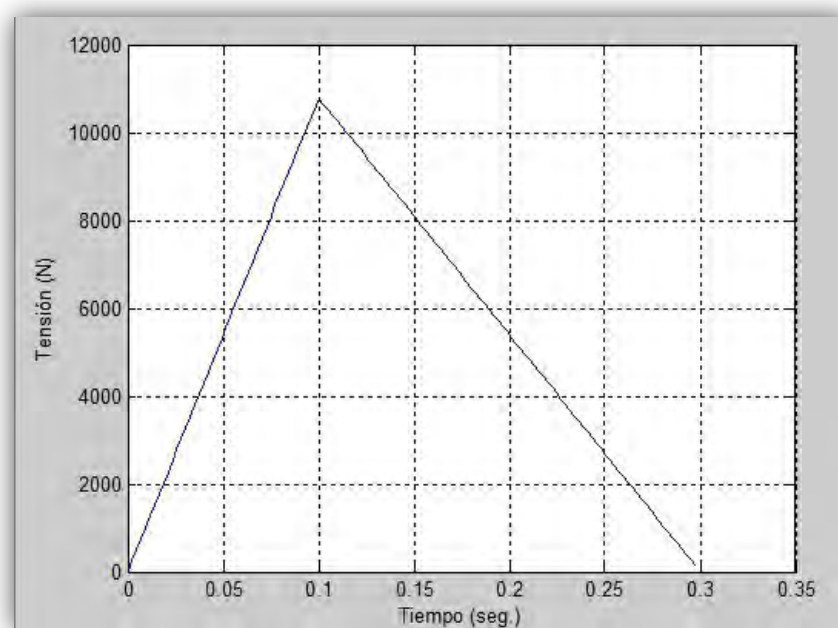


Figura 173. Gráfica tensión-deformación para el impacto horizontal combinado

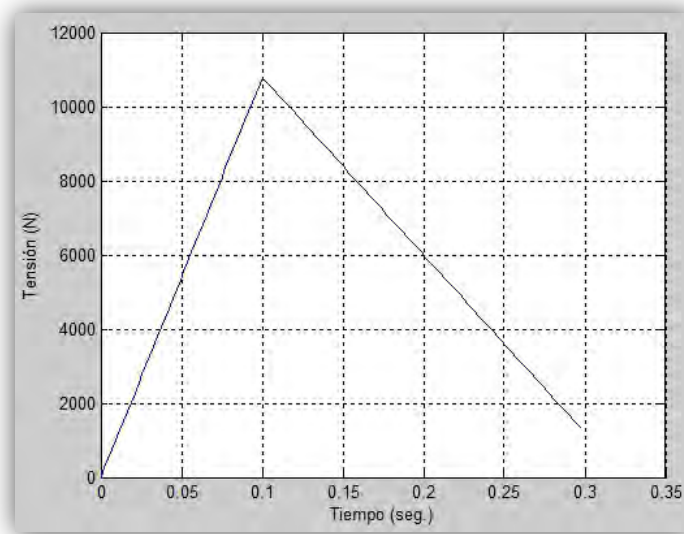


Figura 174. Gráfica tensión-deformación para el impacto vertical combinado

Y el código introducido en Matlab es:

```
n = 128;
dt = 0.2/n;
t(1) = 0;

for i=2:n
    t(i) = t(i-1)+dt;
end

y1 = 136800*t;
y2 = 26160-124800*t;

for i=1:n
    if t(i)<=0.1
        x(i) = y1(i);
    else
        x(i) = y2(i);
    end
end

plot(t,x);
xlabel('Tiempo (seg.)');
ylabel('Tensión (N)');

G = fftshift(fft(x));
f = ((1:length(t))-ceil(length(t)/2))/length(t)/dt;

subplot(312);
plot(f,abs(G));
xlabel('Frecuencia (Hz)');
ylabel('Amplitud');
```

Figura 175. Código de programación para obtener la gráfica de la Transformada de Fourier



Como se puede apreciar del código, se emplearán 128 pares de valores ( $2^7$ ) para realizar el cálculo y la diferencia entre los códigos de un impacto a otro (se ha mostrado solo el vertical) será sustituyendo la función que define su comportamiento por los siguientes:

$$y_1 = 108000 * x$$

$$y_{2H} = 162000 - 540000 * x$$

$$y_{2V} = 15600 - 48000 * x$$

Como se ve, dentro del impacto combinado hay dos posibles funciones finales según sea la componente vertical u horizontal.

La explicación a dichas gráficas carga-tiempo se realizará en el apartado siguiente (Apartado 4.3) para poder introducir todos los elementos que entran en juego. Los resultados obtenidos del programa son los siguientes:

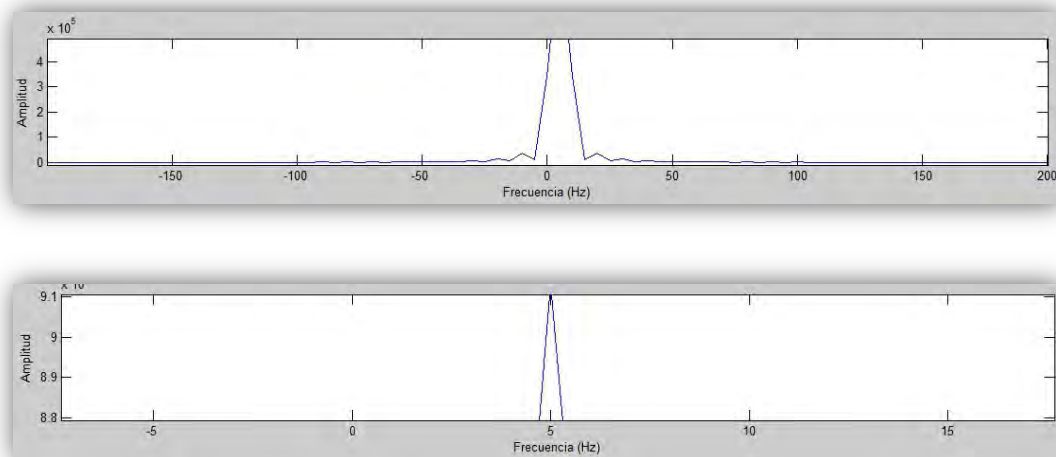
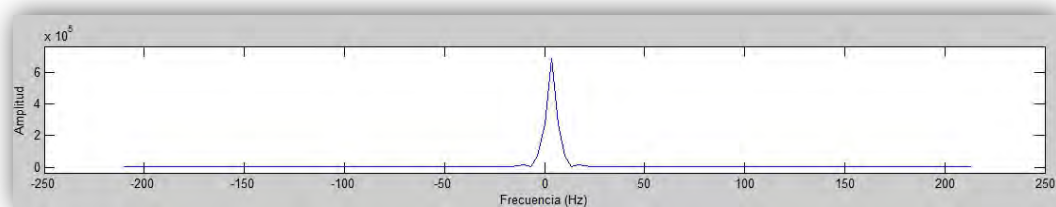


Figura 176. Gráfica de la Transformada de Fourier para el impacto vertical



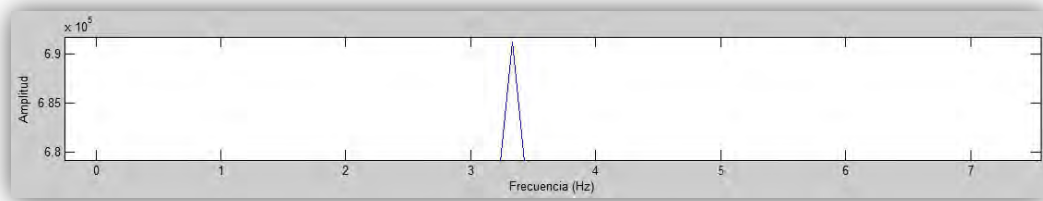


Figura 177. Gráfica de la Transformada de Fourier para el impacto combinado vertical

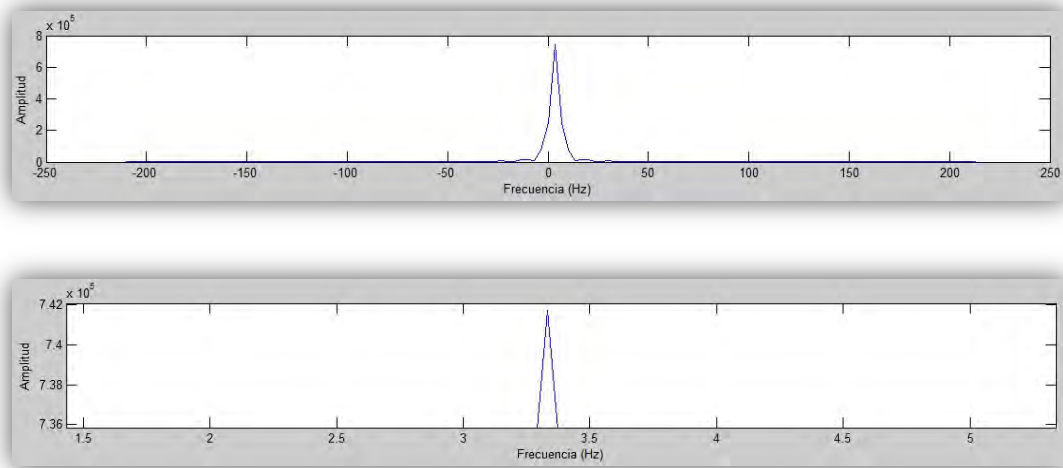


Figura 178. Gráfica de la Transformada de Fourier para el impacto combinado horizontal

Por tanto, la frecuencia para el impacto vertical será de  $f_{\text{imp.v}} = 5 \text{ Hz}$  aproximadamente (ver figura 176), y la frecuencia ante un impacto combinado será  $f_{\text{imp.comb H}} = 3,4 \text{ Hz}$  y  $f_{\text{imp.comb v}} = 3,2 \text{ Hz}$  (ver figuras 177 y 178). Puesto que dichas frecuencias quedan muy lejos de las anteriores, se puede determinar que no hay peligro de que el cuadrilátero entre en resonancia.

### 4.3. Estudio de Impactos:

Antes de empezar a mostrar resultados, es necesario aclarar una serie de suposiciones llevadas a cabo en los siguientes análisis.

Como bien se ha comentado desde el principio (ver Apartado 2.2), el suelo se compone de un tablero de madera con un panel de caucho encima de varios milímetros para absorber impactos. En el estudio estático dicho panel no afectaba nada más que por su propio peso, pero ahora, dicha amortiguación puede ayudar a absorber las vibraciones y disminuir el impacto. Por desgracia, resulta imposible obtener valores para este material

más allá del propio peso que tiene cada panel, pero sí se sabe que el comportamiento de sus propiedades no será lineal, lo que hace inviable realizar estudios dinámicos con las configuraciones escogidas teniéndolo en cuenta.

Otra conclusión que se saca del apartado 4.2 es que si las frecuencias se encuentran tan alejadas, dicho análisis se puede estudiar como si fuese uno estático ya que las vibraciones no influirán en el comportamiento de los elementos. Esto y el hecho de que el caucho no amortigüe las vibraciones entre la madera y la estructura, sino las debidas al impacto con la madera, hace que estudiar el impacto en el cuadrilátero sin tener en cuenta amortiguaciones dé como mucho valores por encima de los reales, lo que sería válido por estar sobredimensionando.

De todas formas, los tiempos de impacto obtenidos se realizaron teniendo en la base amortiguación, por lo que al usarlos y al aplicar el peso de dichos paneles, sí se puede considerar que se esté teniendo en cuenta los efectos del caucho y así el análisis dinámico se llevará acabo como tal, utilizando los siguientes histogramas para aplicar las fuerzas:

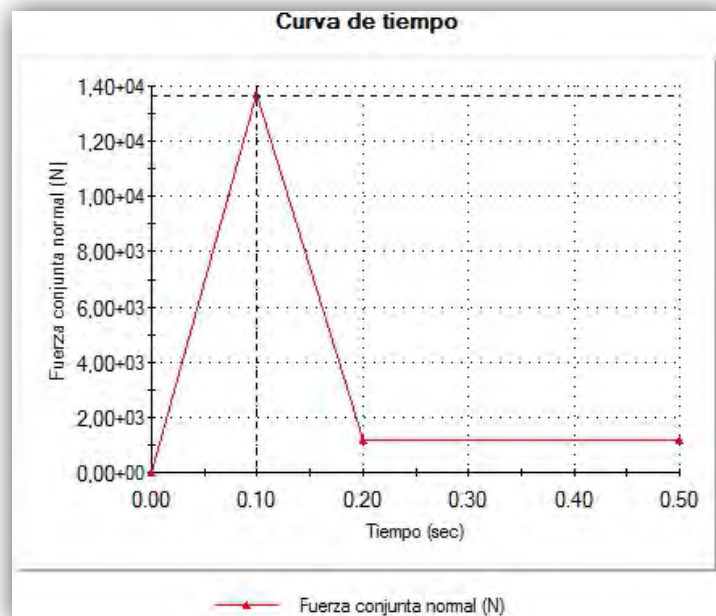


Figura 179. Curva tiempo – fuerza para estudiar el impacto vertical

En esta primera gráfica se ven introducidos los valores para el caso de un impacto vertical al ring. El impacto como tal sucede hasta los 0,2 segundos, con una fuerza máxima de 13680 N en 0,1 segundos y puesto que después el cuerpo sigue en el suelo, se ha supuesto un descenso del valor hasta los 1200 N que durará hasta el final del análisis.

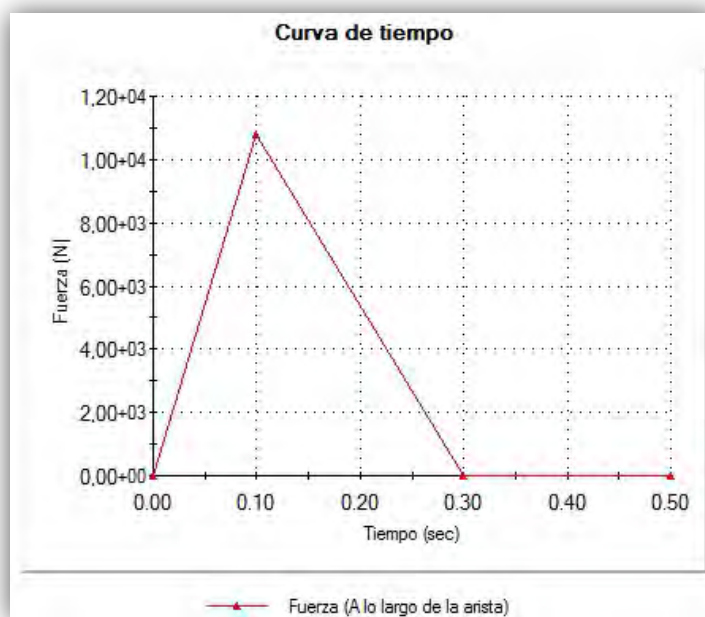


Figura 180. Curva tiempo – fuerza para estudiar la fuerza horizontal en un impacto combinado

En la segunda gráfica se observa la evolución de la fuerza horizontal ante un impacto combinado. Dicho impacto dura 0,3 segundos, pero debido a la naturaleza de dicha colisión, el punto de máximo valor de 10800 N no se obtiene a mitad de impacto. Además se han añadido 0,2 segundos con un valor nulo para que el estudio se realice a la vez con el otro par de fuerzas verticales que se describe a continuación:

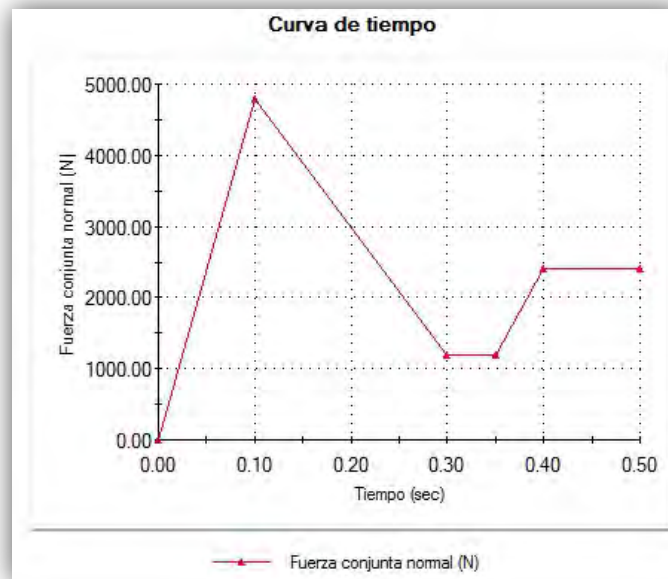


Figura 181. Curva tiempo – fuerza para estudiar la fuerza vertical en un impacto combinado

En dicha gráfica se describe las fuerzas verticales producidas en el impacto combinado en la cual, los primeros 0,3 segundos pertenecen al impacto de 4800 N, momento tras el cual una de las masas rebota sobre la otra y deja a esta sola en el suelo, produciendo una fuerza de 1200 N. Instantes después la masa rebotada cae al suelo y se mantienen las dos en reposo, incrementando el valor a 2400 N.

Dichas gráficas distan un poco de las empleadas en las frecuencias por tener en cuenta una mayor cantidad de tiempo, para estudiar así el comportamiento del conjunto, no solo en el impacto, sino también tras este.

Por último será necesario explicar que dicho estudio se hará por separado al tablero y a la estructura, de manera que en el tablero será suficiente estudiar los impactos verticales (por ser los únicos que absorbe este), mientras que en la estructura se estudiarán verticales y combinados.

#### 4.3.1. Tablero:

El modelo de estudio será el siguiente:

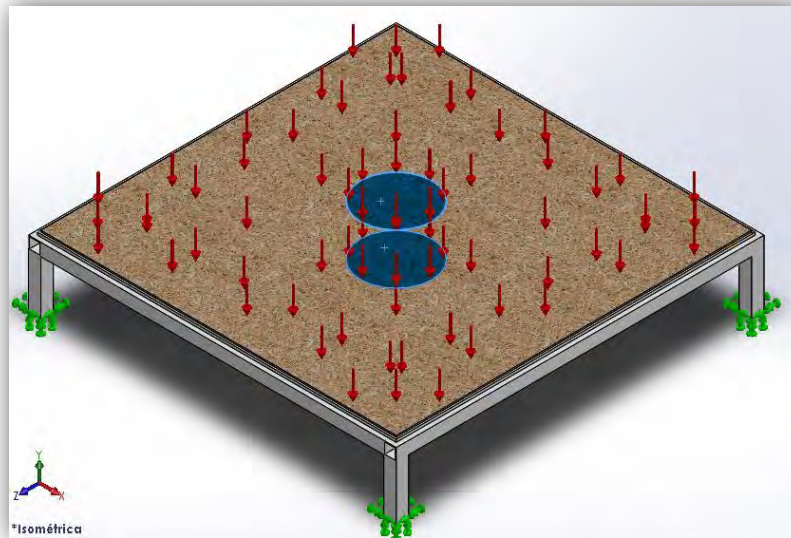


Figura 182. Modelo de tablero para estudio dinámico

Como se observa, el tablero está solicitado por la presión que ejercerían los paneles de caucho y además, las zonas marcadas en azul representan para cada círculo, el peso estático que produce el Nague y la fuerza de impacto que produce el Uke (usando el histograma de tiempo vertical anteriormente explicado, ver figura 179).

Los resultados obtenidos son los siguientes:

$\sigma_{\text{Tablero:}}$	3,27 MPa
CS	6

Tabla 26. Resultado del tablero ante impacto vertical



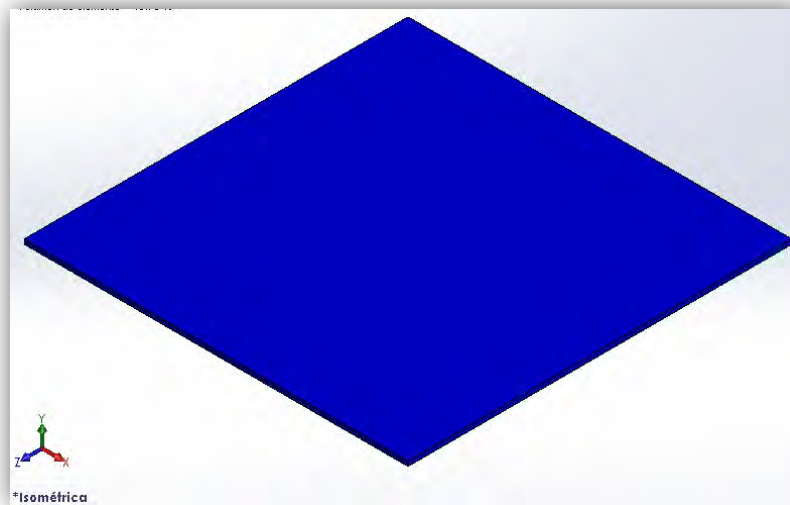


Figura 183. Tensiones en el tablero para el caso de impacto

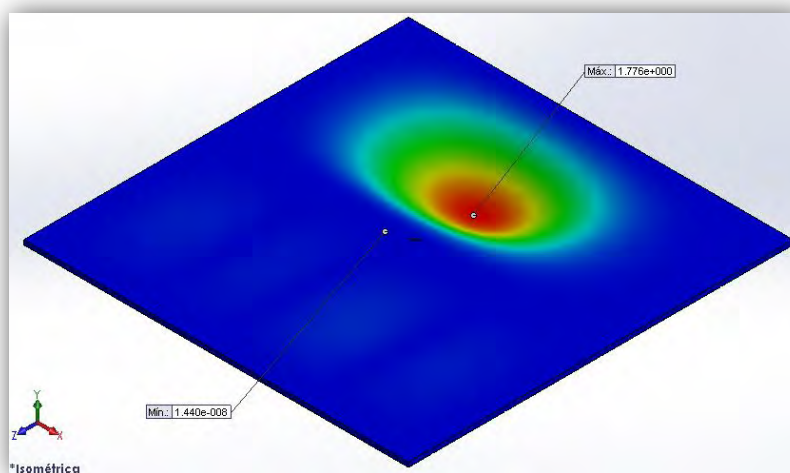


Figura 184. Deformaciones en el tablero para el caso de impacto

Se puede comprobar un descenso en el Coeficiente de Seguridad, debido a la mayor sollicitación con la que trabaja el tablero, pero aun así sigue siendo suficiente para soportar los esfuerzos a los que se le expone.

Por tanto el tablero es válido y solo quedaría comprobar la estructura.

#### 4.3.2. Estructura:

Para el caso de la estructura, por ser simétrica, se tendrá en cuenta solo un cuadrante para el estudio. Dicho cuadrante será dividido en una serie de zonas, en las cuales se irán aplicando las fuerzas para obtener los distintos casos de carga en sentido horizontal y vertical y así poder abarcar una gran variedad de situaciones que pudieran darse en la realidad. Todos los casos, como se ha venido haciendo hasta ahora, tendrán también aplicada la presión correspondiente a los paneles de caucho.

El modelo empleado es el siguiente:

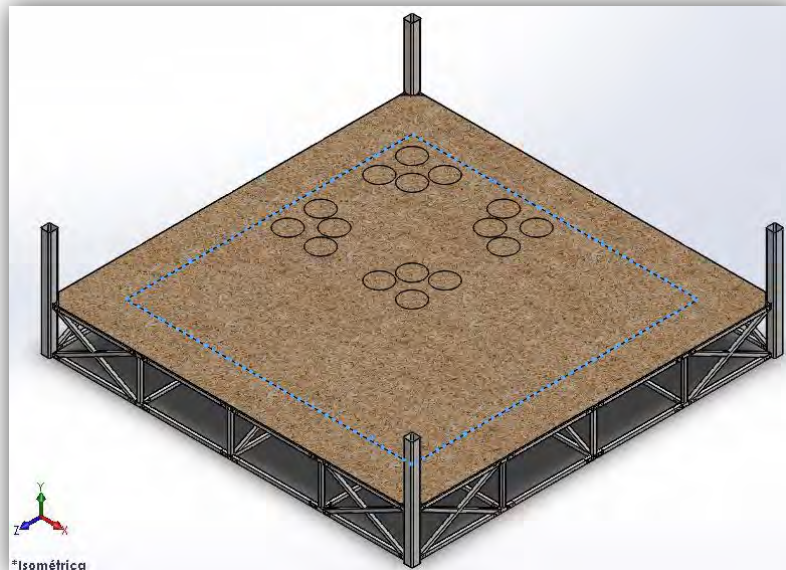


Figura 185. Modelo del cuadrilátero para análisis dinámico

Como se observa, en esta ocasión no se han tenido en cuenta las dimensiones de los diferentes tableros, sino uno que abarque todo, ya que las restricciones que impone el programa para realizar análisis dinámicos (ver Apartado 4.3) hace innecesario mostrar tanto detalle. Sin embargo, obligaría a tener un mallado mucho más denso que aumentaría mucho el tiempo de cálculo. La zona señalada en azul muestra el espacio delimitado por las cuerdas para la pelea y las circunferencias serán las zonas empleadas para aplicar las fuerzas tal y como se muestra a continuación:

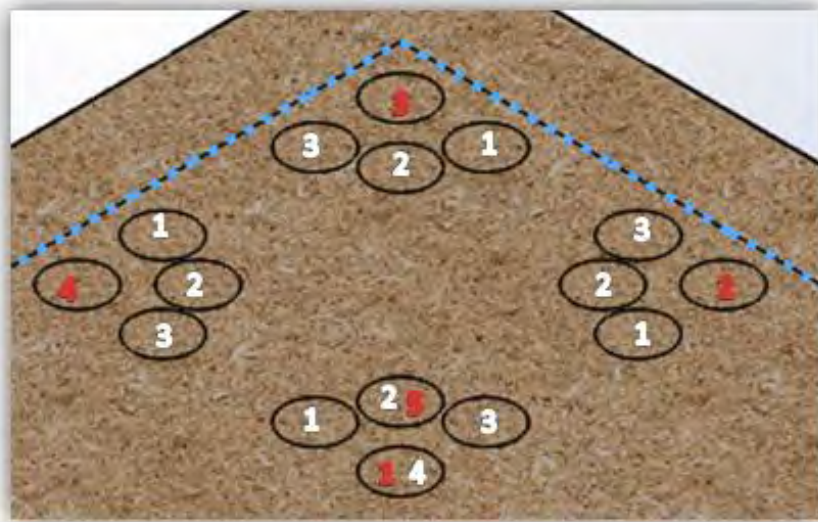


Figura 186. Organización de las zonas según los distintos casos de estudio

En rojo se nombran las distintas zonas donde se irá colocando al proyectante aplicando una fuerza de 1200 N, mientras que en blanco se nombran las distintas zonas donde impactará el proyectado aplicando la fuerza dinámica de 13680 N o 9600 N según sea vertical u horizontal. Por supuesto, para las fuerzas horizontales, la dirección de aplicación será aquella que vaya del punto del proyectante al proyectado.

Los resultados obtenidos para los distintos casos se muestran en la siguiente tabla:

	CASO VERTICAL		CASO COMBINADO			
	$\sigma_{VON MISES}$	$\delta_{RESULTANTE}$	$\sigma_{VON MISES}$	$\sigma_V$	$\sigma_H$	$\delta_{RESULTANTE}$
<b>Caso 1.1</b>	18,6 MPa	0,4 mm	17,9 MPa	7,9 MPa	12,5 MPa	0,4 mm
<b>Caso 1.2</b>	18,3 MPa	0,7 mm	17,5 MPa	7,8 MPa	12,3 MPa	0,4 mm
<b>Caso 1.3</b>	18,4 MPa	0,4 mm	17,4 MPa	7,5 MPa	11,8 MPa	0,4 mm
<b>Caso 2.1</b>	18,7 MPa	0,4 mm	17,7 MPa	7,6 MPa	12,2 MPa	0,4 mm
<b>Caso 2.2</b>	19,1 MPa	0,8 mm	18,3 MPa	7,5 MPa	13,1 MPa	0,4 mm
<b>Caso 2.3</b>	30,4 MPa	1,6 mm	19,1 MPa	9,7 MPa	14,3 MPa	0,4 mm
<b>Caso 3.1</b>	19,3 MPa	0,6 mm	18,6 MPa	8,4 MPa	12,4 MPa	0,5 mm
<b>Caso 3.2</b>	19,2 MPa	0,6 mm	18,1 MPa	8,0 MPa	12,2 MPa	0,5 mm
<b>Caso 3.3</b>	28,1 MPa	1,1 mm	18,3 MPa	7,7 MPa	12,9 MPa	0,5 mm
<b>Caso 4.1</b>	59,1 MPa	1,7 mm	17,8 MPa	11,8 MPa	14,4 MPa	0,6 mm
<b>Caso 4.2</b>	18,4 MPa	0,6 mm	17,6 MPa	7,5 MPa	12,8 MPa	0,4 mm
<b>Caso 4.3</b>	18,3 MPa	0,4 mm	17,7 MPa	7,6 MPa	12,1 MPa	0,4 mm
<b>Caso 5.1</b>	18,4 MPa	0,4 mm	17,7 MPa	7,6 MPa	12,1 MPa	0,4 mm
<b>CS</b>	6,9		21,5			

Tabla 27. Resultados de la estructura ante impactos contra el suelo

A continuación explicaremos los resultados ilustrando alguno de los casos más representativos:

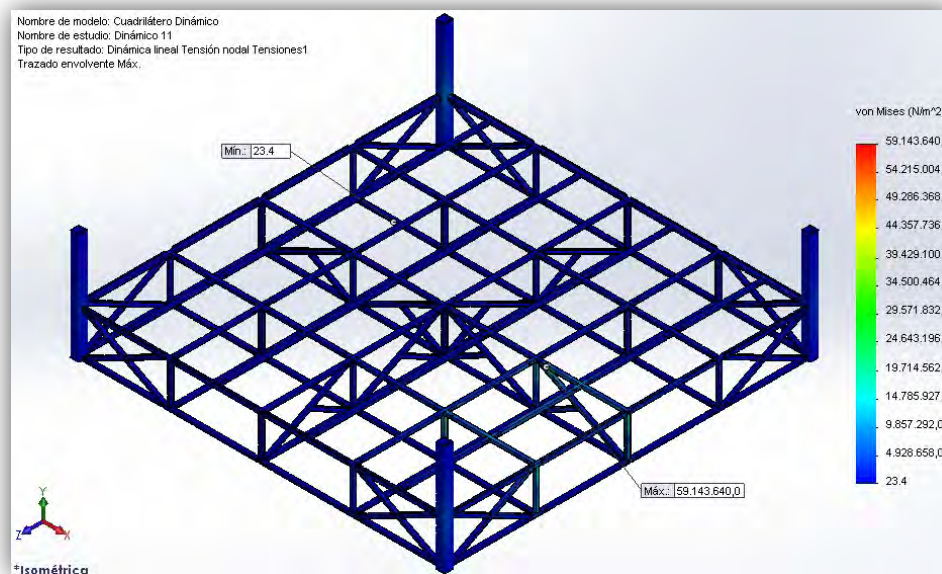


Figura 187. Distribución de la tensión para un nivel alto de impacto vertical

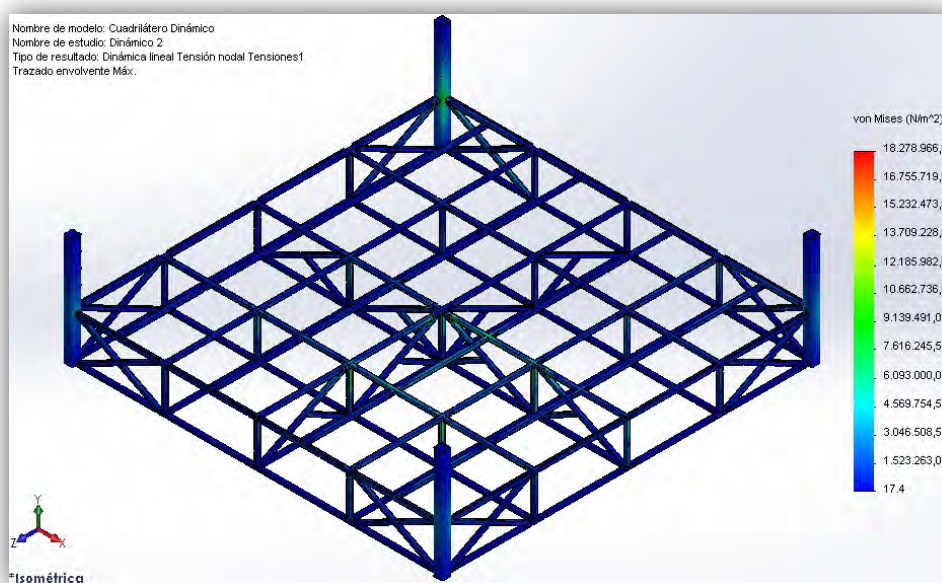


Figura 188. Distribución de la tensión para un nivel medio de impacto vertical



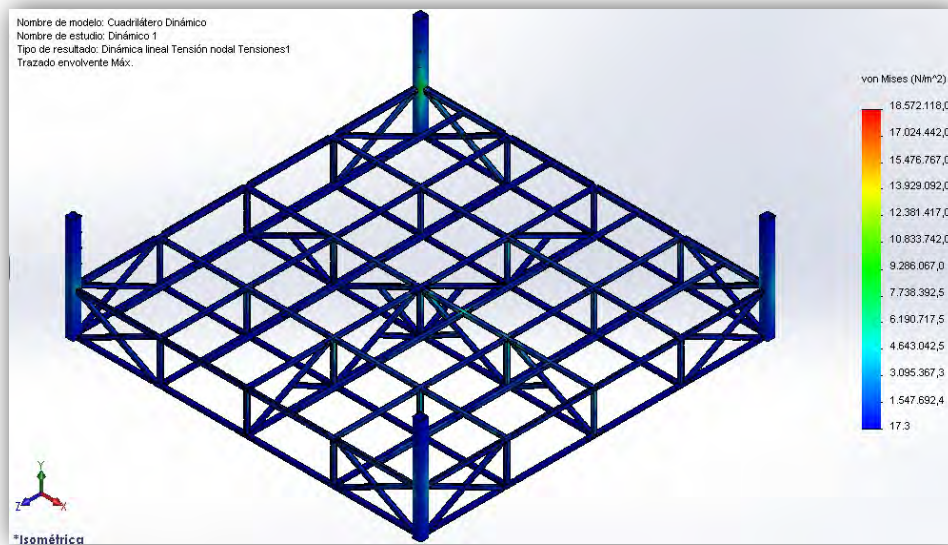


Figura 189. Distribución de la tensión para un nivel bajo de impacto vertical

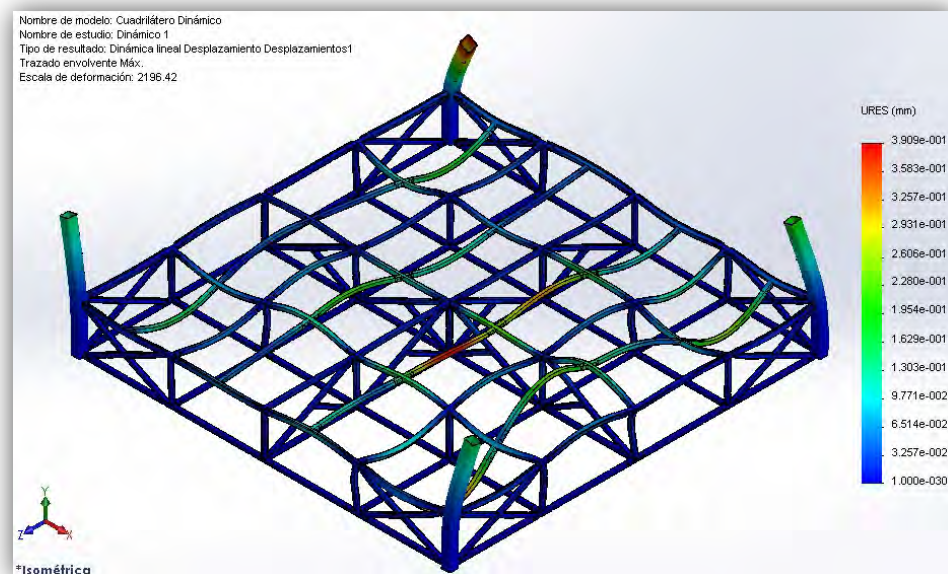


Figura 190. Ejemplo de deformada ante impacto dirigido al centro del cuadrilátero

Para el caso de un impacto vertical, el primer hecho representativo es que los impactos generan vibraciones en la estructura que la hacen deformarse como las ondas producidas por una gota de agua al caer sobre un charco (ver figura 190), poco semejante a cualquier modo de vibración de los vistos hasta ahora, y que se acentúa conforme más cerca pase la dirección del impacto del centro del cuadrilátero.

---

Este hecho es relevante porque para dichos casos (1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 3.2, 4.3 y 5.1), la estructura del cuadrilátero trabajará al completo, mientras que en el resto de casos, solo la zona cercana a la sollicitación se verá afectada. Tales hechos no afectan al valor de la tensión producida, pero sí a las deformaciones originadas.

Los impactos que más tensión producen son los generados cerca de las cuerdas del ring (casos 2.3, 3.3 y 4.1) y paralelos a estas, donde o bien los perfiles verticales exteriores sufren la tensión en sus soldaduras superiores por concentración de tensiones, o bien los perfiles horizontales e inclinados soportan el máximo esfuerzo por flexión (ver figura 187).

El resto de impactos viene dominado por la fuerza que ejercen las cuerdas en los postes como podría pasar en los casos estáticos, solo que los valores tensionales en el resto de la estructura son más elevados y por tanto siguen siendo apreciables estando todos juntos. La tensión máxima se producirá en los mismos puntos de unión que en el caso estático pero al fijarse en los desplazamientos, sí podría ser posible distinguir un segundo nivel de impacto generado por aquellos que se producen en direcciones que no pertenecen a los ejes cartesianos (casos 1.2, 2.2, 3.2, 4.2). Este nivel sufre unas flechas algo superiores al tercero que se explicará a continuación y presentan la similitud de tener cargados también los perfiles verticales interiores que no se encuentran reforzados por ninguno otro, recibiendo por la flexión a la que se les someten (ver figura 188).

El tercer nivel de impacto, los de menor intensidad, son aquellos que se producen sobre los ejes reforzados de la estructura (casos 1.3, 2.1 y 4.3). Curiosamente para estos casos, aunque los perfiles inclinados juegan un papel decisivo en la reducción del valor de los esfuerzos, de no estar las cuerdas, producirían el máximo valor en cualquiera de los perfiles de los casos anteriores y no sobre los ejes principales como cabría esperar (ver figura 189).

Para este tipo de impactos, solo queda por destacar un par de casos anómalos, donde sus resultados quedan en niveles distintos a los esperados y descritos anteriormente. Tal es el del caso 3.1, que se encuentra un nivel por debajo del que debiera o el del caso 5.1, que debería ser de un nivel intermedio y se encuentra uno por debajo ya que se produce justo en el perfil vertical central el cual está fuertemente reforzado.



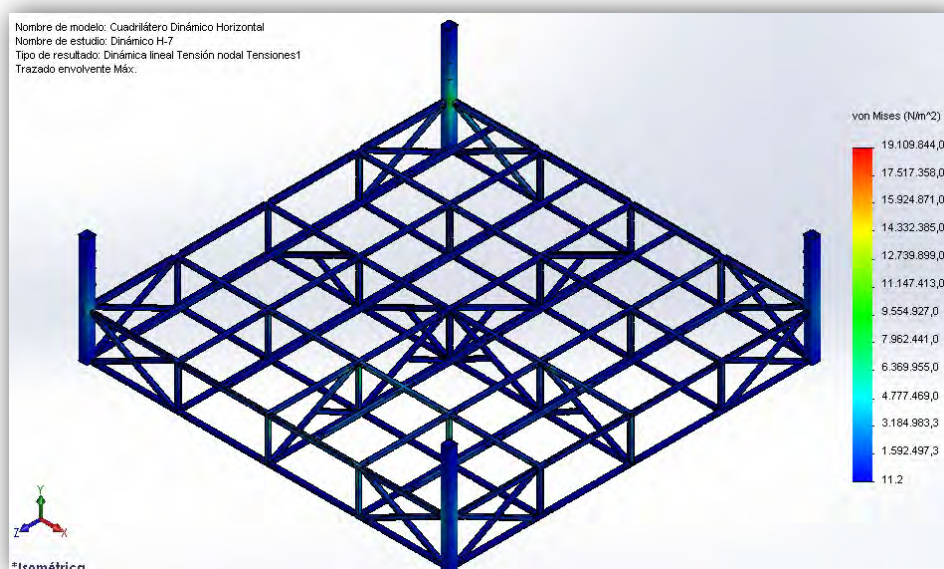


Figura 191. Distribución de la tensión para un caso cualquiera de impacto combinado

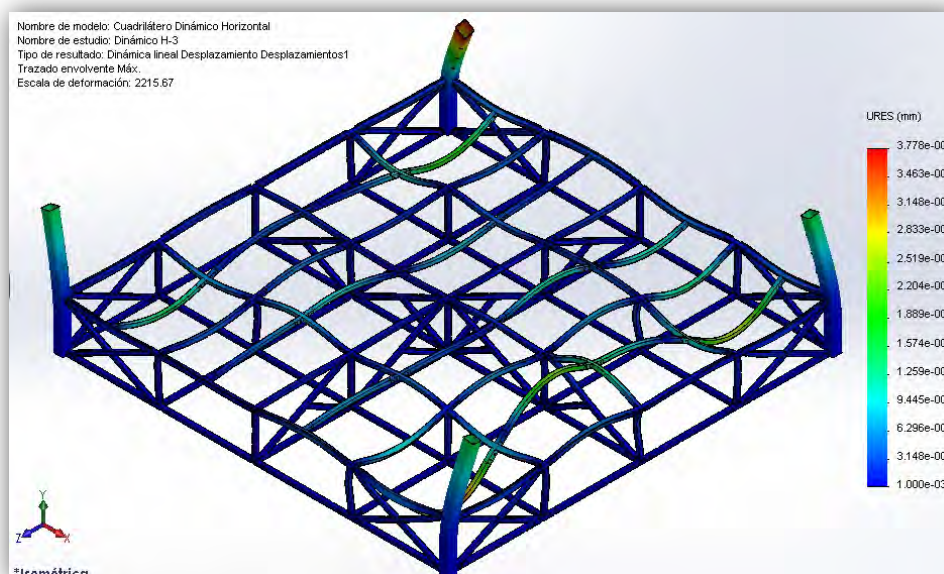


Figura 192. Deformación para un caso cualquiera de impacto combinado

En el impacto combinado las cosas son muy distintas. Aunque la deformación de la estructura tiende a formar las mismas ondas que en los impactos verticales, las tensiones que se producen son muy inferiores. Esto hace que sean una vez más las cuerdas las que marquen la tensión máxima en los mismos lugares de siempre y que todos los casos sean muy semejantes entre sí.

Se aprecia no obstante, un predominio de las tensiones en el plano horizontal, lo que origina una mayor dispersión de las tensiones por la estructura. Se debe a los perfiles inclinados y horizontales y es esta la razón de que los valores sean más bajos.

Por tanto, queda comprobado que el cuadrilátero aguanta perfectamente cualquier situación dinámica, manteniendo un Coeficiente de Seguridad superior a 6, que es un valor muy elevado con el que mantenerse seguro. También se ha podido apreciar que es un diseño que absorbe especialmente bien las fuerzas horizontales, algo realmente bueno ya que no todas las peleas son limpias, y cuanto más feo se vuelve un combate, más normal es ver estos impactos en los que ambos combatientes acaban en el suelo.

Solo queda por tanto, saber qué le sucede a los postes cuando estos se ven sacudidos por las cuerdas.

#### 4.3.3. Cuerdas:

No resulta sencillo calcular el impacto que recibirán las cuerdas a lo largo de un combate ya que hay mil formas distintas de caer sobre ellas y, debido a su naturaleza, resulta laborioso realizar análisis basados en FEM.

Si un poste rompiera, la culpa sería del proyecto por realizar un mal diseño, pero de fallar una cuerda, sería al fabricante al que se le debería pedir explicaciones y a las mismas federaciones y organizaciones por aceptar esas calidades en los productos vendidos. Por ello, en vez de calcular el impacto que reciban, se estudiará para que trabajen a máxima resistencia, de manera que el poste soporte más que las cuerdas siguiendo el procedimiento usado en el Apartado 3.1.

Puesto que las cuerdas aguantan una fuerza máxima de 200 KN, se comprobará la fuerza a la que debe impactar un cuerpo contra ellas. De los apartados anteriores sabemos que  $E = 2850 \text{ N/mm}^2$ , que  $L_0 = 6,1 \text{ m}$ , que  $F_{IMP} = 200000 \text{ N}$  y se estimará que el área del cable es el abarcado por su diámetro, de manera que  $A = \pi * R^2 = \frac{1}{4} * \pi * 0,04^2$ .

De manera que:

$$\frac{F_{IMP}}{A} = E * \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\frac{200000}{\frac{1}{4} * \pi * 0,04^2} = 285 * 10^7 * \frac{\Delta L}{6,1} ; \quad \text{obteniendo: } \Delta L = 0,34\text{m}$$

Los 6,1 m. van de poste a poste, así que solo la mitad del  $\Delta L$  aplica a cada uno de ellos, por lo que  $\Delta L_{POSTE} = 0,17\text{m}$ .

Esto se puede ver mejor representado de la siguiente manera:



Figura 193. Desplazamiento de la cuerda tras impacto

Donde la línea amarilla continua representa la cuerda en estado de reposo, la línea amarilla discontinua su deformación máxima, y en blanco los límites del cuadrilátero.

Como se ve, queda un simple problema trigonométrico que se resuelve mediante:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{3,05}{3,22} = 18,7^\circ$$

Cuyo equilibrio de fuerzas en el centro será:



Figura 194. Equilibrio de fuerzas

Después de todo lo dicho, habrá que hacer un pequeño reajuste. Como se ve, un impacto que produzca una fuerza de 200KN a las cuerdas supone ejercer una fuerza de 128 KN, que al ser producida mediante una masa de 120 Kg supone aplicarla una aceleración de  $1069 \text{ m/s}^2$ , es decir, unos 107 G. En el apartado 4.1 se vio que un cuerpo humano soporta mucha más aceleración de la que se puede suponer, pero también tenía unos límites y 107 G no solo es imposible que pueda ser producido por un persona en el combate, sino que además haría pulpa al que se le aplicara. Imponiendo 60 G como aceleración máxima (y esta sigue siendo una aceleración mayor a la que soporta el cuerpo humano en periodos medianamente largos) la fuerza resultante sobre la cuerda queda en 130 KN con un ángulo de  $15,2^\circ$ .

Queda entonces por conocer la frecuencia a la que se mueven las cuerdas. Mediante los vídeos empleados hasta ahora [73]-[75], se han podido estimar dos claros momentos en el desarrollo de este movimiento:

- a) Momento de impacto: La cuerda soporta el peso del contrincante y es estirada en consecuencia. Tras despedirlo, esta se seguirá moviendo exageradamente a causa de la repulsión, realizando en el siguiente segundo 4 oscilaciones completas. Esto significa una frecuencia de 4 Hz.



Figura 195. Deformación de una cuerda ante impacto 1



Figura 196. Deformación de una cuerda ante impacto 2

- b) Vibración libre: El combate ha continuado, la cuerda ya no está tensionada y durante los siguientes 3 segundos ha ido disminuyendo su amplitud. Sin embargo aún queda una pequeña vibración que durará unos segundos más. La frecuencia de este movimiento es de 10 Hz y su amplitud es de un escaso centímetro.



A la vista de estos resultados se puede ver que ninguna frecuencia dará problemas de resonancia (ver Apartado 4.2). También se aprecia en las imágenes que en realidad solo las dos cuerdas superiores sufrirán deformaciones serias, la cuerda inferior nunca se inmuta y la siguiente superior apenas suele ser usada ya que queda a la altura de los muslos. Todo esto se tendrá en cuenta a la hora de introducir los datos en el programa.

De manera que con esto ya se tendría toda la información necesaria para introducirla en SolidWorks.

El análisis se llevará a cabo mediante un estudio dinámico lineal (otro motivo para no haber diseñado en el modelo las cuerdas) con la opción de Gráfico Historia-Tiempo, en la que las fuerzas se aplicarán directamente en los postes sobre superficies que representarán las anillas en las que se unen los tensores, tal y como se describió en el Apartado 3.1.

Se aplicarán las cargas estáticas obtenidas en el Apartado 3.1 y se añadirá el efecto de las dinámicas, previamente descompuestas en la dirección normal y perpendicular del tensor, para saber cuáles afectan realmente. Sin embargo, esto plantea otro problema, ya que al descomponerse las fuerzas no se podrían aplicar con el ángulo calculado como si fuese estático al ser un movimiento armónico, pero si se introducen los valores como un movimiento armónico simple, durante un periodo se aplicaría la carga en el sentido que debería, pero el siguiente periodo lo aplicaría en el sentido opuesto y eso no es así. Si se descompone la fuerza según ejes cartesianos:



Figura 197. Descomposición de la fuerza en los ejes cartesianos

Como se observa, si se aplican las fuerzas descompuestas ya sí es posible obtener dicho efecto vibratorio sobre el poste aplicando dos fuerzas armónicas, una entre  $\pm 34$  kN y otra entre 125,5 kN y 0 (cuando la cuerda pase por el estado inicial, la tensión



desaparece). La frecuencia por tanto de la fuerza vertical, será el doble que el de la fuerza horizontal.

Puede apreciarse que la componente vertical es bastante menor que la horizontal, por lo que en casos donde los impactos sean menores, dicho valor podrá ser despreciado.

Si ahora además trasladamos estas fuerzas a los ejes del tensor:



Figura 198. Descomposición de las fuerzas en los ejes del tensor

Quedando, por tanto, una fuerza entre 89 KN y 0 con una frecuencia el doble que la otra de  $\pm 24$  KN. Las gráficas de Carga-Tiempo para las fuerzas empleadas son las siguientes:

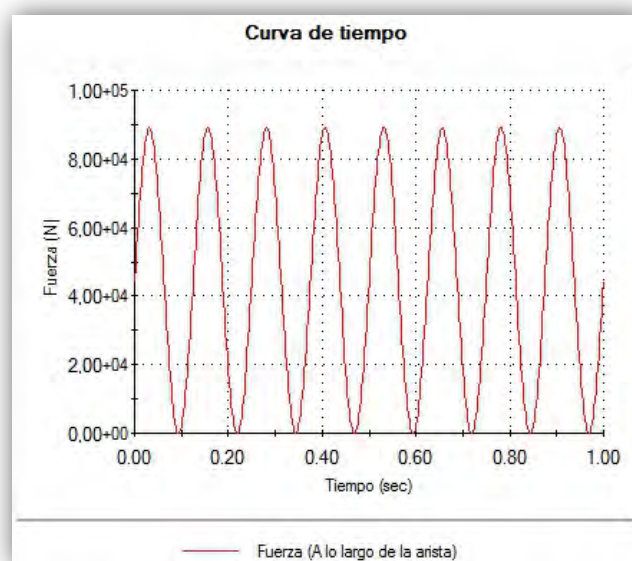


Figura 199. Curva Tiempo-Carga para la fuerza original aplicada en la dirección X

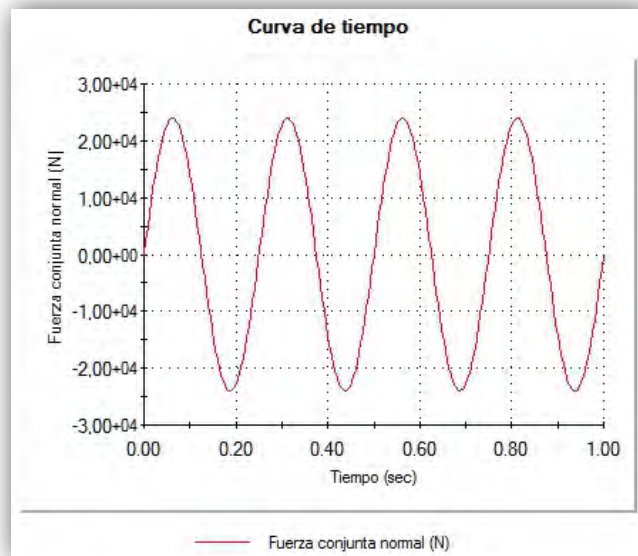


Figura 200. Curva Tiempo-Carga para la fuerza original aplicada en la dirección Z

El resultado de aplicar dichas cargas es el siguiente:

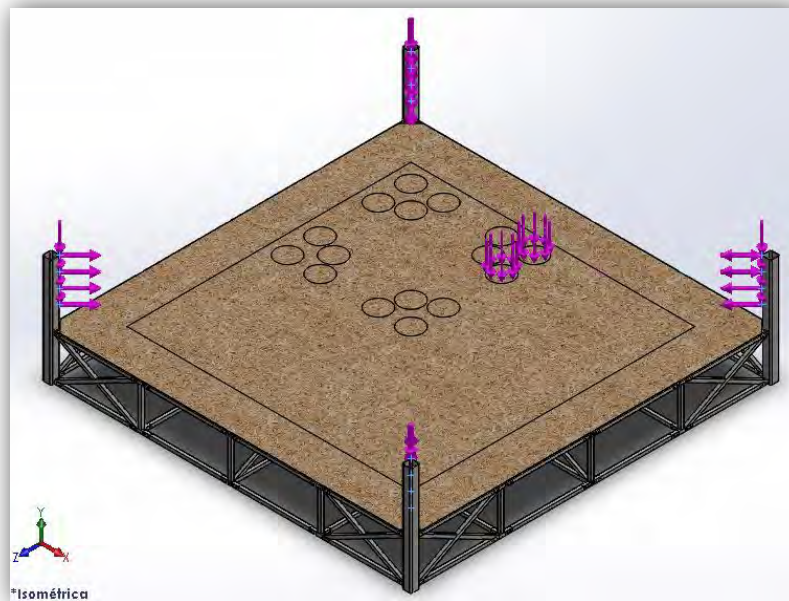


Figura 201. Modelo de estudio

Al modelo también se le han aplicado las fuerzas estáticas correspondientes a los dos luchadores que provocarían el impacto en las cuerdas y la presión debida al amortiguamiento del suelo (este ha sido ocultado para facilitar la visualización del conjunto).

El resultado de dicho análisis es el siguiente:

	$\sigma_{VON MISES}$	$\delta_{RESULTANTE}$
<b>Conjunto</b>	220,4 MPa	4,3 mm
<b>Poste</b>	160,3 MPa	4,6 mm
<b>CS</b>	1,9	

Tabla 28. Resultados ante impactos en las cuerdas

A continuación se muestran imágenes justificativas:

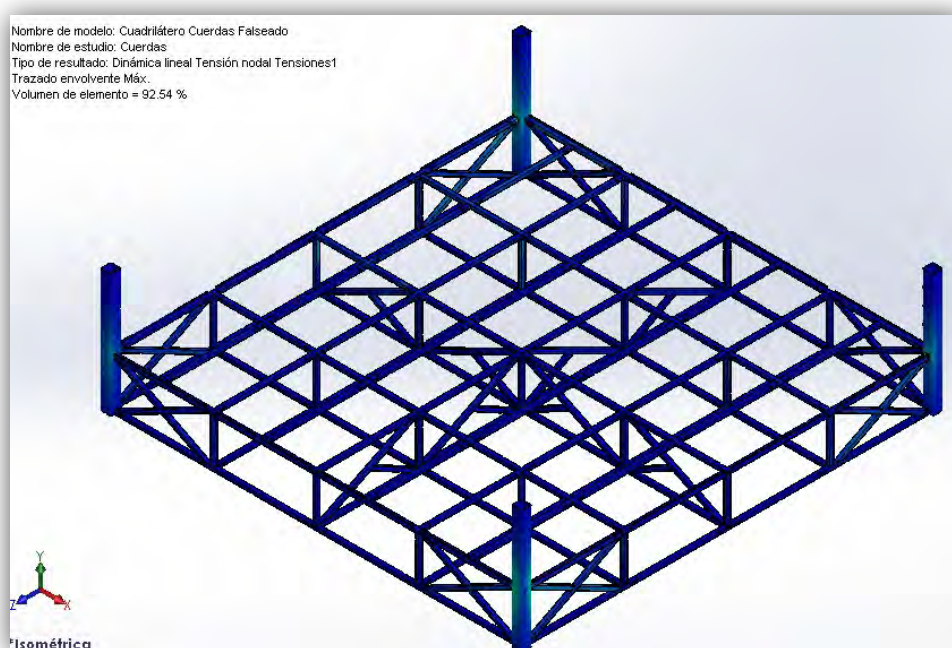


Figura 202. Distribución de las tensiones en el modelo

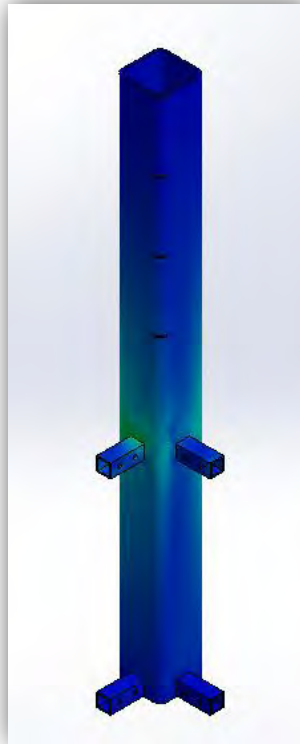


Figura 203. Tensiones en el poste

A la vista de los resultados, queda claro que el modelo resistirá los impactos sobre las cuerdas, aunque este se verá un poco justo. Las tensiones máximas se siguen produciendo en las uniones de los postes con el resto de la estructura, y aunque sufren bastantes esfuerzos debido a la flexión, se encontrarán más relajados según se alejen de esa zona. Para esta ocasión, los perfiles inclinados que refuerzan los postes se ven también bastante cargados, lo que sirve para evitar desplazamientos en el poste y transmitir el esfuerzo por el resto del cuadrilátero. En estos casos, solo la periferia de la estructura se ve cargada.

Se aprecia que, aunque el Coeficiente de Seguridad se ha reducido drásticamente a un 1,9, esto es debido a que se ha empleado una aceleración muy por encima de la que se está seguro que se llegará a obtener, por lo que sería normal que la estructura rondara al final con un coeficiente de 3 de haber sido más precisos (aunque de esta forma se obtienen valores más conservadores). También se recuerda que se está usando como tope el límite elástico del material, por lo que sobrepasar dicho valor solo supondría tener que revisar luego el estado en que se ha plastificado, por si tuviese que ser sustituido, pero en ningún caso supondría una rotura.

Con todo esto, se puede asegurar que el modelo 1.2 está perfectamente diseñado para soportar cualquier tipo de combate y será el que se escoja como solución final.

Solo faltaría por tanto escoger la tornillería necesaria para soportar los esfuerzos y calcular la garganta de las soldaduras.

## 5. DISEÑO DE UNIONES:

El estudio de las soldaduras y uniones atornilladas se realizará mediante [18], por ser un procedimiento perfectamente aceptado y que simplifica mucho tanto el diseño como el modelo al no tener que introducir ahora nuevos elementos ni hacer nuevos análisis.

Habrà, no obstante, que solventar un problema antes, ya que todas las fórmulas que se emplearán a continuación requieren que las cargas vengan dadas por las fuerzas que las producen, mientras que SolidWorks, para casos dinámicos, solo devuelve tensiones en sus análisis. Será por tanto necesario, para cada caso, limitar el estado tensional concreto que lo afecte y llevar a cabo las operaciones necesarias para poder emplear las fórmulas.

### 5.1. Soldaduras:

Las soldaduras que se aplicarán a la estructura serán en ángulo, y de la norma se puede obtener que las fórmulas para calcularlas son:

$$f_{vW,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_W * \gamma_{M2}}$$

$$F_{W,Ed} \leq F_{W,Rd} = a * f_{vW,d}$$

$f_{vW,d} \equiv$  Tensión tangencial de cálculo resistida  
 $f_u \equiv$  Tensión de la chapa de menor resistencia  
 $\beta_W \equiv$  Coeficiente de correlación  
 $\gamma_{M2} \equiv$  Coeficiente de seguridad  
 $a \equiv$  Garganta de la soldadura  
 $F_{W,Ed} \equiv$  Resultante de todas las fuerzas del cordón

Como ya se comentó, resulta necesario conocer las fuerzas resultantes en el punto en cuestión para poder sacar la garganta necesaria. Por suerte, para este apartado, la norma permite utilizar una tercera fórmula que reemplaza la primera, y que es función de tensiones, suponiendo que sobre la soldadura hay una distribución uniforme de tensiones y que su geometría es la de un triángulo equilátero:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_W \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$f_u \equiv$  Resistencia última a tracción

$\sigma_{\perp} \equiv$  Tensión normal a la garganta

$\sigma_{\parallel} \equiv$  Tensión paralela al eje del cordón

$\tau_{\perp} \equiv$  Tensión tangencial perpendicular

$\tau_{\parallel} \equiv$  Tensión tangencial paralelo

Esto permite, mediante las opciones de resultado de SolidWorks, sacar dichas normales y cortantes (como ejemplo, ver Tabla 6, pág.67).

Sin embargo, aún habrá que hacer una serie de ajustes. Las orientaciones de dichas tensiones tenidas en cuenta en la fórmula son:

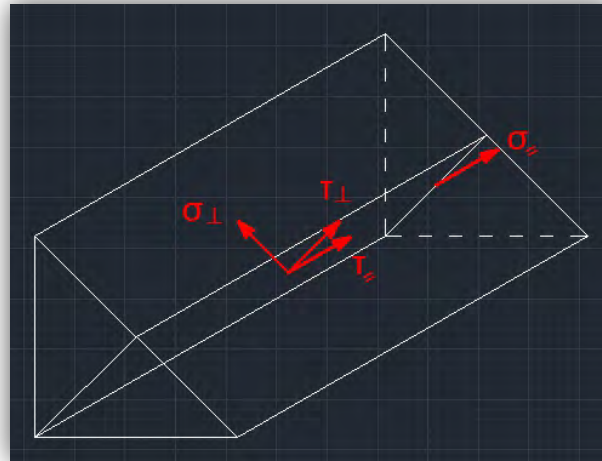


Figura 204. Orientación de tensiones según norma

Pero los ejes principales que SolidWorks emplea, se corresponderían con los siguientes:

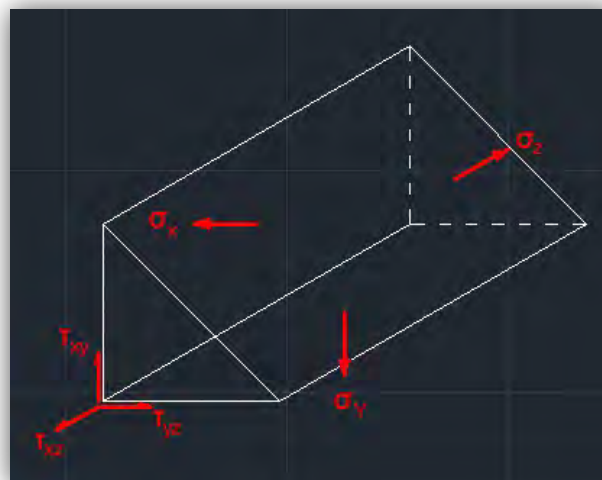


Figura 205. Orientación de tensiones según SolidWorks



Por tanto, será necesario escoger un punto, hallar las tensiones principales para dicho punto y después pasarlas al otro sistema de referencias. El punto en cuestión que a priori debería ser es el que da la máxima tensión para todos los casos de estudio (ver figura 55, página 65) sumamente próximo a una soldadura de manera que se podría suponer que su estado tensional es el mismo. Sin embargo, las distintas orientaciones que pueda coger la soldadura hacen que unas tensiones puedan ser más perjudiciales que otras y, además, no por ser el punto de máxima tensión implica que sus componentes también lo sean. Por ello se escogerán las componentes máximas de toda la estructura y se estudiará para dos posibles orientaciones de la soldadura, horizontal y vertical. Los valores según los ejes representados en la figura 205 son:

$$\sigma_x = -104,7 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_y = -132 \text{ Mpa}$$

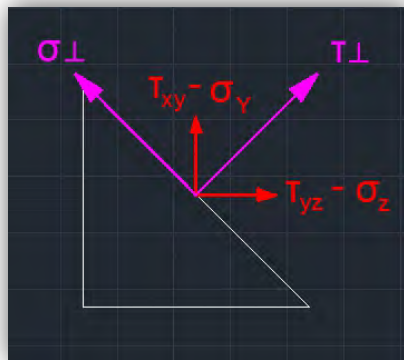
$$\sigma_z = 180 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{xy} = 40,5 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{xz} = 66,4 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{yz} = 76,4 \text{ Mpa}$$

Para el cambio de coordenadas se realizará:



$$\sigma_{\perp} = \frac{\sqrt{2}}{2} * (\tau_{xy} - \sigma_y - \tau_{yz} + \sigma_z) = \mathbf{276,1 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{\parallel} = \sigma_x - \tau_{xz} = \mathbf{-171,1 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sqrt{2}}{2} * (\tau_{xy} - \sigma_y + \tau_{yz} - \sigma_z) = \mathbf{68,9 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{\parallel} = -\tau_{xz} = \mathbf{-66,4 \text{ MPa}}$$

Y sabiendo que  $f_u = 430 \text{ N/mm}^2$ ,  $\beta_w = 0,85$  (por escoger un acero S275) y  $\gamma_{M2} = 1,25$  (por considerar una resistencia última de material), podemos sustituir ya en la ecuación:

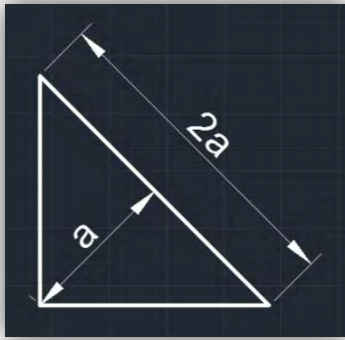
$$\sqrt{(276,1)^2 + 3(68,9^2 + (-66,4)^2)} \leq \frac{430}{0,85 * 1,25}$$

$$322 \text{ MPa} \leq 405 \text{ MPa}$$

Y puesto que:

$$276,1 \text{ MPa} \leq \frac{430}{1,25} = 344 \text{ MPa}$$

Las soldaduras horizontales soportarían los esfuerzos con una garganta mínima de:



$$A = \frac{1}{2} * 2 * a * a = a^2$$

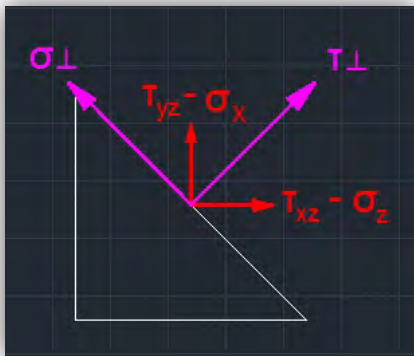
$$F_{W,Ed} = \sigma_{\parallel} * A = 171,1 * a^2$$

$$171,1 * a^2 = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_W * \gamma_{M2}} = \frac{430 / \sqrt{3}}{0,85 * 1,25} = 233,65$$

$$a = \sqrt{233,65 / 171,1} = 1,2 \text{ mm}$$

Luego, la garganta ha de tener un espesor mínimo mucho menor a los 5 mm que se habían estado dejando de espacio para que los componentes no chocaran con estas. Por tanto las soldaduras horizontales soportan perfectamente los esfuerzos.

Para una soldadura vertical, las tensiones resultarían así:



$$\sigma_{\perp} = \frac{\sqrt{2}}{2} * (\tau_{yz} - \sigma_x - \tau_{xz} + \sigma_z) = 294,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\parallel} = \sigma_y - \tau_{xy} = -172,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{\sqrt{2}}{2} * (\tau_{yz} - \sigma_x + \tau_{xz} - \sigma_z) = 67,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = -\tau_{xy} = -40,5 \text{ MPa}$$

Y usando los mismos datos de antes, los resultados son:

$$\sqrt{294,7^2 + 3(67,5^2 + (-40,5)^2)} \leq \frac{430}{0,85 * 1,25}$$

$$325 \text{ MPa} \leq 405 \text{ MPa}$$

Y puesto que:

$$294,7 \text{ MPa} \leq \frac{430}{1,25} = 344 \text{ MPa}$$

Las soldaduras verticales también aguantarían con una garganta de:

$$a = \sqrt{233,65/172.5} = 1,2 \text{ mm}$$

La garganta mínima es igual que la horizontal, luego permite tener cordones de soldadura homogéneos a lo largo de toda la unión.

Puesto que las soldaduras no darán problemas, se emplearán gargantas de 3 mm para asegurarse y se pasará a estudiar el resto de elementos de unión.

## 5.2. Tornillos:

El caso de los tornillos tiene los mismos inconvenientes que las soldaduras, pero no se podrán buscar fórmulas alternativas expresadas en tensiones. Se emplearán aquellas para uniones sin pretensar como las que se muestran a continuación:

- a)  $F_{v,Rd} = n * \frac{0,5*f_{ub}*A}{\gamma_{M2}}$ , para calcular la resistencia a cortante en la sección transversal.
- b)  $F_{t,Rd} = \frac{0,9*f_{ub}*A_s}{\gamma_{M2}}$ , para calcular la resistencia a tracción del tornillo.
- c)  $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4*F_{t,Rd}} \leq 1$ , para comprobar la sollicitación combinada.

Dónde:

$n \equiv$  número de planos de corte

$f_{ub} \equiv$  Resistencia última del acero del tornillo

$A \equiv$  Área de la caña del tornillo

$A_s \equiv$  Área resistente a tracción del tornillo

Puesto que SolidWorks ya ha calculado el resto del comportamiento de la estructura, no será necesario analizar la resistencia por aplastamiento o desgarro del alma.

Por tanto el primer problema que se plantea es obtener tensiones con las que poder trabajar. A diferencia de la soldadura, se tienen muy localizados los lugares donde se deben buscar las fuerzas (los taladros dejados en los perfiles para simular el atornillado),

pero sin la posibilidad de obtener valores en un punto concreto como se explicó anteriormente, esto es lo mismo que nada.

Se solucionará modelando un pseudo-tornillo que se introducirá en la unión de los perfiles que se encuentren más cargados, y se volverá a analizar el estudio que dio las tensiones más altas (el del impacto en las cuerdas) para así obtener los valores tensionales en dicho elemento.

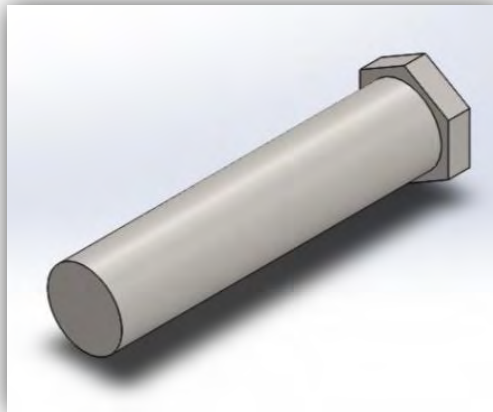


Figura 206. Pseudotornillo

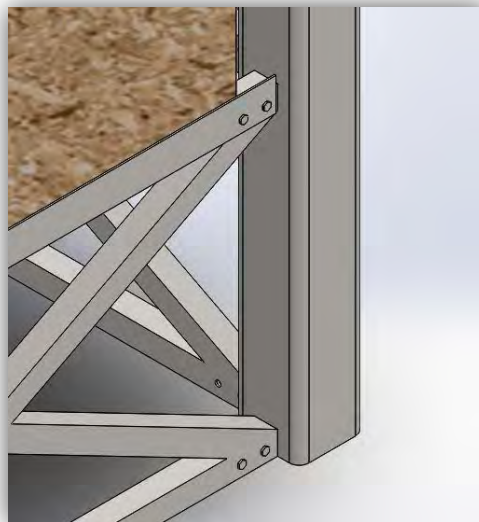


Figura 207. Unión atornillada

Puesto que lo importante es obtener las tensiones sobre el elemento, no importa si este no está del todo bien modelado mientras la superficie de contacto sí sea la real. Como se observa, se utilizarán 4 de estos en las uniones más críticas para asegurarnos que el punto máximo se encuentra entre ellos.

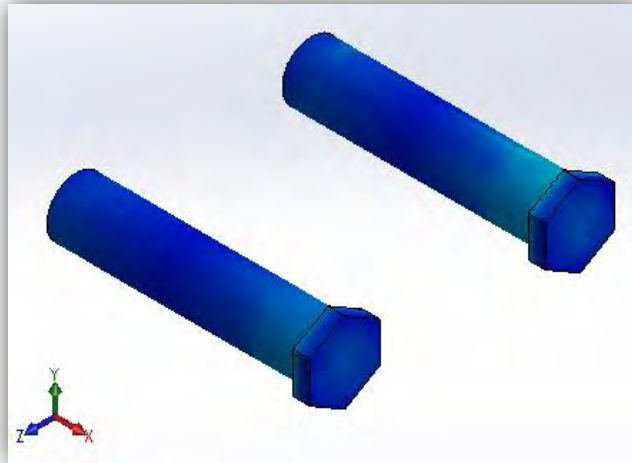


Figura 208. Pseudotornillos analizados

Tras analizarlo, obtenemos que las tensiones máximas según los ejes principales (ver figura 207) son:

$$\sigma_x = 12,9 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_y = 11,6 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_z = 11,2 \text{ Mpa}$$

Puesto que sabemos el área frontal y transversal del tornillo (por supuesto descontando la cabeza) podemos calcular las fuerzas según los ejes aplicando la fórmula fundamental de la tensión  $\sigma = F/A$ .

Las áreas son las siguientes:

$$A_F = \frac{1}{4} * \pi * D^2 = 0,25 * \pi * 17,5^2 = 241 \text{ mm}^2$$

$$A_T = L * B = 70 * 17,5 = 1225 \text{ mm}^2$$

Y las fuerzas por tanto:

$$F_x = 12,9 * 241 = 3109 \text{ N}$$

$$F_y = 11,6 * 1225 = 14210 \text{ N}$$

$$F_z = 11,2 * 1225 = 13720 \text{ N}$$

Quedando entonces como fuerzas de estudio:

$$N = 3,1 \text{ KN}$$

$$T = 14,2 \text{ KN}$$

Con esto ya se pueden emplear las fórmulas anteriores. Como últimas observaciones, de los proveedores [62] – [65] podemos comprobar que las calidades más vendidas en tornillería son la 6.8, 8.8 y, como mucho, la 10.9 y nunca por encima de una métrica M24. Por tanto, para los próximos estudios empezaremos suponiendo una calidad 6.8 de métrica 20 (el taladro que se hizo inicialmente en el modelo), a los que le corresponde unos valores  $n = 2$ ,  $f_{ub} = 600 \text{ MPa}$ ,  $A = 241 \text{ mm}^2$  y  $A_s = 245 \text{ mm}^2$  (valores sacados de tablas). Los resultados son:

$$F_{v,Rd} = 2 * \frac{0,5 * 600 * 241}{1,25} = 115,7 \text{ KN} > 14,2 \text{ KN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * 600 * 245}{1,25} = 105,8 \text{ KN} > 3,1 \text{ KN}$$

$$\frac{14,2}{115,7} + \frac{3,1}{1,4 * 105,8} = 0,14 < 1$$

Como se puede observar, los tornillos cumplen sobradamente los requisitos. Se disminuirá primero a una métrica M14 para reducir el precio de los tornillos y el diámetro del taladro que se le ha de mecanizar a los perfiles. Los valores para dicha métrica son  $A = 104,7 \text{ mm}^2$  y  $A_s = 115,5 \text{ mm}^2$  quedando el resto constantes. Los resultados serían:

$$F_{v,Rd} = 2 * \frac{0,5 * 600 * 104,7}{1,25} = 50,3 \text{ KN} > 14,2 \text{ KN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * 600 * 115,5}{1,25} = 49,9 \text{ KN} > 3,1 \text{ KN}$$

$$\frac{14,2}{50,3} + \frac{3,1}{1,4 * 49,9} = 0,33 < 1$$



Sigue estando muy poco aprovechado. Descenderemos como último paso a una métrica M10, donde  $A = 52,3 \text{ mm}^2$  y  $A_s = 58 \text{ mm}^2$ :

$$F_{v,Rd} = 2 * \frac{0,5 * 600 * 52,3}{1,25} = 25,1 \text{ KN} > 14,2 \text{ KN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * 600 * 58}{1,25} = 25,1 \text{ KN} > 3,1 \text{ KN}$$

$$\frac{14,2}{25,1} + \frac{3,1}{1,4 * 25,1} = 0,65 < 1$$

Esta métrica ya está mucho más aprovechada. Sigue disponiendo de margen para aguantar cualquier imprevisto, pero reduce mucho el taladro de los perfiles (un diámetro de 10 mm), proporcionando mayor cantidad de material para absorber esfuerzos. Además dicha métrica, junto con la calidad del acero escogido, es un tipo de tornillo fácilmente obtenible en cualquier ferretería a un precio asequible.

Queda por tanto acabado el dimensionamiento de las uniones, con unos resultados sumamente razonables y seguros. El último paso será estudiar el coste del proyecto, con lo que se obtendrán conclusiones para todos los requisitos fijados y, se comprobará la viabilidad del proyecto.

## 6. ESTUDIO ECONÓMICO:

### 6.1. Costes:

Ahora que se conocen las dimensiones y características de cada una de los componentes y elementos que forman el cuadrilátero, será necesario enumerarlos para poder desarrollar un presupuesto con el que realizar un estudio económico de vista a saber el valor por el que poder venderlo o alquilarlo, así como determinar si merece la pena subcontratar operaciones o llevarlas todas a cabo uno mismo.

#### 6.1.1. Estructura:

El despiece de cada uno de los componentes de la estructura puede ser analizado en los planos para fabricación de los anexos. A continuación se muestra una tabla resumen para enumerar la cantidad total de los distintos tipos de perfiles necesarios:

	Perfiles Cuadrados (mm)					Cantidad
	60x60x5	60x60x6	70x70x5	200x200x5	180x180x4	
<b>Conjunto 1</b>	600		7397			<b>2</b>
<b>Conjunto 2</b>	940		7471			<b>2</b>
<b>Conjunto 3</b>	600		1112			<b>5</b>
<b>Conjunto 4</b>		600		1200		<b>4</b>
				1120		
					1160	
<b>Conjunto 5</b>			7140			<b>4</b>
<b>Conjunto 6</b>	150		7160			<b>4</b>
<b>Conjunto 7</b>	1240		7492			<b>2</b>
<b>Conjunto 8</b>	300		1112			<b>8</b>
<b>Conjunto 9</b>	900		7419			<b>2</b>
<b>Barra 440</b>	440					<b>26</b>
<b>Barra 1825</b>			1825			<b>8</b>
<b>Barra 1825vX</b>	150		1825			<b>8</b>
<b>Barra 1830</b>			1830,5			<b>12</b>
<b>Barra 1830vX</b>			1830,5			<b>4</b>
<b>Barra 1860</b>			1860			<b>12</b>
<b>Barra 1860vX</b>	300		1860			<b>4</b>
<b>Barra 1865,5</b>			1865,5			<b>12</b>
<b>Barra 1865,5vX</b>	300		1865,5			<b>4</b>

Tabla 29. Recuento de perfiles tubulares cuadrados

Donde el conjunto 4 viene descompuesto en sus tres subpartes, la inferior, superior e interior.

	Perfil Rectangular 100x5 mm	Cantidad
<b>Conjunto 4</b>		<b>4</b>
	4560	
<b>Conjunto 5</b>	1740	<b>4</b>
<b>Conjunto 6</b>	1745	<b>4</b>
<b>Barra 1825vX</b>	1805	<b>8</b>
<b>Barra 1830vX</b>	1810.5	<b>4</b>

Tabla 30. Recuento de perfiles tubulares rectangulares

Con ello obtenemos que la cantidad total de perfiles necesarios es:

	<b>TOTAL [m]</b>
<b>Perfil 60x60x5</b>	28,4
<b>Perfil 60x60x6</b>	2,4
<b>Perfil 70x70x5</b>	24,9
<b>Perfil 200x200x5</b>	9,3
<b>Perfil 180x180x4</b>	4,6
<b>Pletina 100x5</b>	53,9

Tabla 31. Recuento de perfiles total

Dicha cantidad será la que se emplee para pedir presupuestos. Ciertamente es que al no tener en cuenta la longitud máxima de los perfiles que suministran los fabricantes, la realidad sea que se tenga que pedir alguna barra más de algún perfil para ajustarse a los tamaños suministrados. Sin embargo, las variaciones serán mínimas ya que los presupuestos también se hacen sobre cantidades de barras completas y dada la importancia del presupuesto, se le han de pedir cálculos rápidos a los fabricantes para obtener resultados.

A dicho presupuesto también se le pedirá el traslado hasta el lugar de almacenaje y los cortes y taladrados no se tendrán en cuenta por poder hacerse personalmente.

El presupuesto puede verse en los anexos en el Apartado 8.1, donde el costo de obtener los perfiles y trasladarlos hasta un almacén en Madrid ascenderían a:

<b>Acero Estructura</b>	<b>2771,38 €</b>
-------------------------	------------------

Tabla 32. Presupuesto para el acero

#### 6.1.2. Tableros de madera:

Como se vio en el apartado 3.3.2.1, las cantidades necesarias son las siguientes:

- 4 tableros MDF de 1970x1965x24 mm.
- 4 tableros MDF de 1970x1935x24 mm.
- 4 tableros MDF de 1965x1930x24 mm.
- 4 tableros MDF de 1935x1930x24 mm.

Pero estas son medidas personalizadas de tableros con dimensiones estándar que se deberán cortar previamente. Dichos cortes son actualmente gratuitos por lo que no se deben de tener en cuenta. Por tanto los tableros a comprar serán:

- 16 tableros MDF de 2440x2100x24 mm.

Puesto que el precio medio de un tablero de estas características es de  $9,75 \text{ €/m}^2$ , el coste ascendería a:

Tablero MDF	<b>156 €</b>
-------------	--------------

Tabla 33. Presupuesto para los tableros

Todos los datos han sido obtenidos de [34]-[42].

### 6.1.3. Paneles de caucho:

Se necesitan acolchar  $60,8 \text{ m}^2$  con dichos paneles (área de  $7,8 \times 7,8 \text{ m}$ ). Tras comparar varios fabricantes [43]-[51] puede verse que las dimensiones básicas que tienen todos son de 500x500 mm y debido a las normativas (ver apartado 1.1.4) se escogerá el espesor mínimo de 20 mm. Esto supone las siguientes cantidades:

- 225 paneles de 500x500x20 mm.
- 28 paneles de 300x500x20 mm.
- 1 panel de 300x300x20 mm.

Como se ve, habrá varios paneles que deberán ser comprados con dimensiones de 500x500 mm para después pedir que sean cortados a dimensiones inferiores. De vista a los cálculos, se considerarán todos de la misma dimensión, lo que supondrá:

- 254 paneles de 500x500x20 mm.

Puesto que el precio de un panel negro o rojo (los más baratos) es de  $33,20 \text{ €/m}^2$ , el precio de comprar todos sale a:

Paneles caucho	<b>2108,2 €</b>
----------------	-----------------

Tabla 34. Presupuesto para los paneles de caucho

#### 6.1.4. Cuerdas:

A raíz del apartado 3.1 se sabe que en teoría son necesarias 4 cuerdas de 24,4 m. Sin embargo se vio que para mantener la cuerda firme, es necesario someterla a una tensión constante producida por su montaje, que se obtendrá reduciendo su longitud inicial para obligarla a estirarse en su colocación.

En los cálculos llevados a cabo, dicha elongación era igual a 3 mm entre tramos de postes, y puesto que para cada altura se usa una sola cuerda, esta ha de reducirse 12mm. Esto nos lleva a necesitar 24350 mm de cuerda por altura o un tramo de 97400 mm que después se cortará.

Los proveedores actualmente venden cada tramo de cuerda a un precio fijo, cortando esta a la medida pedida (aunque posiblemente haya una longitud máxima para suponer un tramo o varios), por lo que indistintamente de la longitud, el precio es de 144 €/cuerda (precio obtenido de [58]-[61]). Esto supone un precio de:

Cuerdas	576 €
---------	-------

Tabla 35. Presupuesto para las cuerdas

#### 6.1.5. Lona:

Las dimensiones y geometría exactas de la lona se detallan en los planos. En función de si el cuadrilátero lleve publicidad o no, la lona variará, pero se puede estimar para ambos casos que cubre un área de **83 m<sup>2</sup>**, donde se incluye la zona de combate y material sobrante que tapan los laterales del cuadrilátero y además serán usados para tensar y dejar liso el suelo.

El precio de la lona esta en 36,06 €/m<sup>2</sup>, lo que supone:

Lona	2992,98 €
------	-----------

Tabla 36. Presupuesto de la lona

Por supuesto, se supondrá una lona lisa sin publicidad para uso propio, en caso de alquilarse y querer el cliente algún tipo de logo en ella, puede añadirse un suplemento extra en los laterales que se colocará por delante de la básica. En tal caso se deberá renegociar el precio.

#### 6.1.6. Tornillos:

A continuación se mostrará una tabla resumen con la cantidad de taladros que han de ser realizados por componente:

	Taladros Ud.	Cantidad
<b>Conjunto 1</b>	12	2
<b>Conjunto 2</b>	16	2
<b>Conjunto 3</b>	8	5
<b>Conjunto 4</b>	8	4
<b>Conjunto 5</b>	8	4
<b>Conjunto 6</b>	8	4
<b>Conjunto 7</b>	16	2
<b>Conjunto 8</b>	4	8
<b>Conjunto 9</b>	12	2
<b>Barra 440</b>	4	26
<b>Barra 1825</b>	4	8
<b>Barra 1825vX</b>	6	8
<b>Barra 1830</b>	4	12
<b>Barra 1830vX</b>	4	4
<b>Barra 1860</b>	4	12
<b>Barra 1860vX</b>	8	4
<b>Barra 1865,5</b>	4	12
<b>Barra 1865,5vX</b>	8	4

Tabla 37. Recuento de taladros

Sin embargo, dado que se tratan de uniones telescópicas, por cada taladro que se hace, tiene que haber otro que actúe como juego, y para esos 2 taladros, solo un tornillo. De manera que de los 688 taladros a realizar, solo serán necesarios **344 tornillos M10x85, clase 6,8 DIN 601, 931, 960, 5917, 6914 o 70614.**



Dado que el precio del tornillo esta en unos  $2,84 \text{ €/tornillo}$ , ver [63]-[66], el precio total será de:

Tornillos	976,96 €
-----------	----------

Tabla 38. Presupuesto de tornillos

#### 6.1.7. Soldaduras:

Una vez obtenido el material, cortadas las barras y taladradas, habrá que preparar las piezas para fabricar los componentes. Para asegurar un buen resultado, se subcontratará al soldador para que se encargue de poner el material y equipo necesario, soldando cordones de unos 280 mm de longitud y 3 mm de garganta. Dada la facilidad de las soldaduras y una cantidad no muy elevada, se estimará que no requerirá más de dos días laborables de trabajo.

Es complicado obtener un presupuesto para este tipo de operaciones ya que muchos lo hacen solo de palabra, en negro y estimando a ojo en función del material, pero una aproximación que se lleva usando desde hace algún tiempo es obtener el precio por hora multiplicando por cuatro el valor de los electrodos. De [69] obtenemos que el valor de un electrodo de 2,5 mm para acero es de  $6,8 \text{ €/electrodo}$ , luego la operación se cobraría a unos  $27 \text{ €/h}$  (puesto que un soldador medio cobra solo por trabajar  $16 \text{ €/h}$  no es una estimación desafortunada). Se han hablado de 16 h laborables de trabajo, lo que supone un total de:

Soldadura	432 €
-----------	-------

Tabla 39. Presupuesto de las soldaduras

Puesto que una soldadora normalita está en el orden de 300 € (eso sí, sin los accesorios. Ver [69]) es posible que a la larga compense más comprarse una y aprender a hacerlo bien a subcontratar dicha operación.

### 6.1.8. Mano de obra:

Observando el peso de los componentes:

	Peso Ud.
Conjunto 1	79,5 Kg
Conjunto 2	83 Kg
Conjunto 3	16,5 Kg
Conjunto 4	42,4 Kg
	34,1 Kg
	43,2 Kg
Conjunto 5	78 Kg
Conjunto 6	79,5 Kg
Conjunto 7	87 Kg
Conjunto 8	14 Kg
Conjunto 9	82 Kg
Barra 440	4,5 Kg
Barra 1825	18,4 Kg
Barra 1825vX	26,6 Kg
Barra 1830	18,5 Kg
Barra 1830vX	25,5 Kg
Barra 1860	18,8 Kg
Barra 1860vX	21,3 Kg
Barra 1865,5	18,8 Kg
Barra 1865,5vX	21,3 Kg

Tabla 40. Peso de los componentes del cuadrilátero

En su momento se habló de que bien para su instalación o desplazamiento, ninguna persona soportaría más de 30Kg. Esto supone que serán necesarias 3 personas mínimo para poder montarlo todo.

Si suponemos un pago de 50 €/persona por el desplazamiento, montaje y/o posible desmontaje del producto, y un alquiler de furgoneta de unos 67 €/día, los costes quedan en:

Mano de obra	<b>217 €</b>
--------------	--------------

Tabla 41. Presupuesto de la mano de obra

### 6.1.9. Accesorios:

También se debe de tener en cuenta el resto de accesorios necesarios para la instalación del cuadrilátero y su puesta a punto. Estos son:

- **16 tensores** para unir las cuerdas a los postes.
- **16 cubre cuerdas** exigidas por las federaciones para proteger a los luchadores.
- **4 Rinconeras** debido al mismo motivo que el anterior.
- **8 Sujetacuerdas** para fijar el movimiento de estas a un conjunto.
- **41 m de cuerda** para tensar la lona.

De [58]-[60] obtenemos los siguientes costes:

Tensores	<b>864 €</b>
Cubre cuerdas	<b>499 €</b>
Rinconera	<b>164 €</b>
Sujetacuerdas	<b>34 €</b>
Cuerda	<b>37,6 €</b>
<b>Total</b>	<b>1598,6 €</b>

Tabla 42. Presupuesto de los accesorios

### 6.1.10. Corte y taladrado:

Estas dos operaciones no requieren de grandes habilidades a la hora de su ejecución y dada la finalidad de su función, no se necesitan máquinas industriales que garanticen precisiones muy finas, sino que pueden llevarse a cabo por maquinaria doméstica asegurando una buena sujeción de la pieza.

Por tanto para estos casos, lo que se tendrá en cuenta es el precio de las máquinas y utillajes. Lo bueno de tener maquinaria propia es que aunque la inversión inicial eleve el precio del cuadrilátero, en un futuro permitirá poder seguir obteniendo piezas si una de estas fallase.

El precio de comprar ambos productos es de:

Sierra Eléctrica	<b>401 €</b>
Taladradora	<b>553 €</b>
Mordazas	<b>33 €</b>
Kit de Herramientas M10	<b>121 €</b>
Disco para Acero	<b>64 €</b>
<b>Total</b>	<b>1172 €</b>

Tabla 43. Presupuesto del corte y taladrado

#### 6.1.11. Resultados:

Obtenidos todos los costes del producto, se puede pasar a calcular el costo total por el que saldría la realización del proyecto.

Estructura	<b>2771,38 €</b>
Tableros Madera	<b>156 €</b>
Paneles de Caucho	<b>2108,2 €</b>
Cuerdas	<b>576 €</b>
Tornillos	<b>976,96 €</b>
Lona	<b>2992,98 €</b>
Soldaduras	<b>432 €</b>
Accesorios	<b>1598,6 €</b>
Corte y Taladrado	<b>1172 €</b>
<b>Total</b>	<b>12784.12 €</b>

Tabla 44. Presupuesto total

A priori, el precio obtenido parece bastante elevado. Desde luego resulta muy superior al que se podría esperar con el objetivo de hacer un cuadrilátero competitivo económicamente, pero habrá que tener una serie de cosas presentes. De todos los costes anteriores, los tableros de madera, paneles de caucho, cuerdas, lona y accesorios son cifras totalmente ajenas al diseño que hayamos podido darle al cuadrilátero. Estos costes suponen:

$$\frac{7432}{12785} \times 100 = 58\%$$

---

Como vemos, casi un 60% del coste total es inalterable. Solo aquellos fabricantes que tuviesen una amplia gama de productos aparte del cuadrilátero, como los accesorios por ejemplo, podrían intentar reducir el precio por esta vía.

De los costes propios al diseño nos encontramos con la estructura, los tornillos, y las operaciones de fabricación como son la soldadura, corte y taladrado. Estructura y tornillos son los costes más rápidos de intentar reducir (eliminando la duplicidad de tornillos en los enganches o buscando alguna otra solución estructural), pero dado que las dimensiones de la estructura son lo que son, esta reducción tendrá unos límites que no se prevén superiores a unos 1200 € (un 9% del precio total). También se podría intentar negociar algo el precio de las soldaduras o buscar alguien barato para realizar el corte y taladrado (en vez de comprar la maquinaria), pero resultaría difícil reducir estos costes en más de 600 €.

Esto supondría una reducción del coste máximo en 1800 € totales, dejando un precio final de **10985 €**.

Antes de sacar unas conclusiones finales, será necesario estudiar por tanto el mercado, para ver si realmente vale la pena realizar el trabajo de fabricar el propio ring.

## **6.2. Estudio del mercado:**

Actualmente se encuentran dos formas distintas de obtener un ring, bien comprándolo o alquilándolo. No hay muchos anuncios que publiciten el producto, y la mayoría son para dimensiones de amateur y no profesional, pero de [70]-[72] podemos obtener la siguiente información:

### **6.2.1. Compra del cuadrilátero:**

El precio medio de un cuadrilátero profesional está en torno a los 13300 €, y aunque algunos empiezan a ser ya desmontables, la mayoría se siguen ofertando como fijos. Todos se venden con el equipamiento completo e instalación insitu.

---

Si se descende a las dimensiones de un cuadrilátero amateur, el precio ronda los 8500 € y si se compra de segunda mano (no se han encontrado para dimensiones profesionales), el precio descende a los 5000 €.

#### 6.2.2. Alquiler del cuadrilátero:

Sí que se han encontrado cuadriláteros, que aunque no se especifican en su ficha técnica, dada su oferta, han de ser desmontables. La mayoría de dimensiones amateur y por un precio de entre 200 y 500 € que incluye instalación en el punto y recogida al día siguiente.

### **7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS:**

Obtenidos ya todos los resultados, podemos sacar conclusiones sobre el proyecto realizado.

De los estudios estáticos y dinámicos, se ha obtenido un cuadrilátero que satisface 3 de los 4 objetivos buscados:

- Soportar cualquier tipo de combate.
- Ser desmontable.
- De fácil construcción.

Con un Coeficiente de Seguridad final de 1,25, el cuadrilátero ha sido diseñado para soportar cualquier tipo de combate empleando para ello valores muy extremos, lo que garantiza una perfecta estabilidad y durabilidad en el tiempo ya que no llega a exceder nunca su límite elástico.

Se han escogido en todo momento para su diseño, materiales fáciles de obtener en el mercado, lo que permite fabricar uno propio con gran comodidad y sin buscar demasiado. También garantiza una sencilla intercambiabilidad de elementos en caso de que por mal uso o deterioro, alguna pieza necesite ser reemplazada.

Además, puesto que todos sus elementos son perfiles cuadrados cortados con ángulos sencillos y en su mayoría atornillados, su montaje y transporte resultan de lo más



cómodo y rápido. Su almacenamiento no requiere de demasiado espacio, no más de  $10\text{ m}^3$  (comprobadas unas dimensiones de  $2 \times 2,5 \times 2\text{ m}$ ), lo que lo hace sencillo de guardar en cualquier parte.

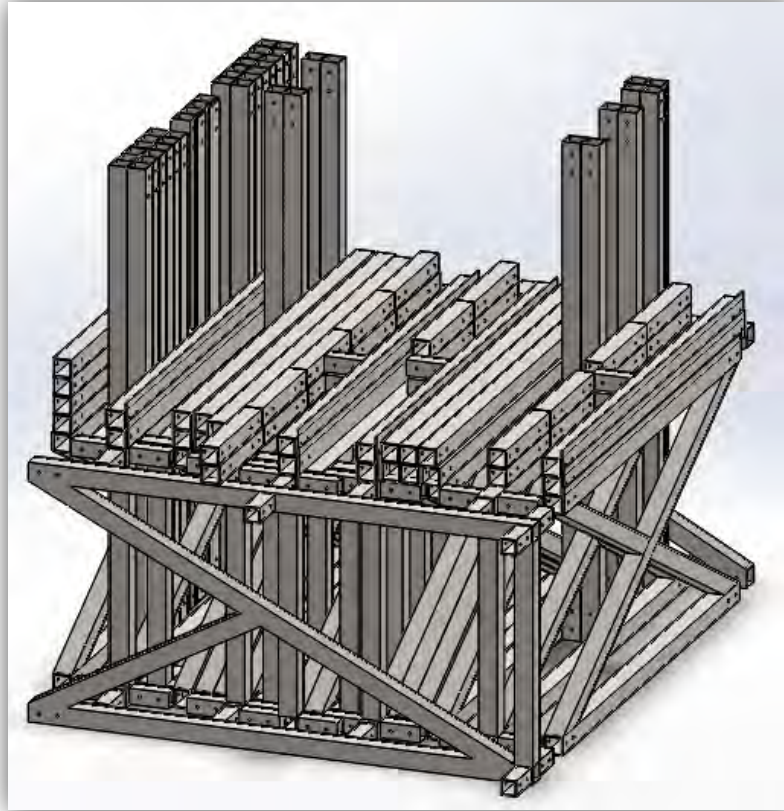


Figura 209. Cuadrilátero almacenado

Con el estudio económico queda patente que se ha conseguido obtener un producto más barato al que se ofrece en el mercado, pero sin embargo, no lo bastante como para considerarlo competitivo económicamente (el cuarto requisito). La inversión sigue siendo elevada (12785 €) e incluso consiguiendo reducir los costes esos 1800 €, hace que la diferencia de precios haga plantearse si merece la pena jugársela y fabricárselo uno mismo o pagar más y dejarse de problemas.

Por tanto, **solo se puede afirmar haber obtenido tres de los cuatro objetivos, aunque tampoco se puede afirmar haber fracasado en el cuarto**, ya que según el caso en el que se encuentre cada persona, este puede ser un proyecto que valga la pena realizar o no. A continuación se desarrolla dicho matiz.

---

La gran diferencia frente al resto de productos sigue siendo su capacidad para montarse y desmontarse con gran facilidad, así como la de fabricarse sin problemas. Esto hace que aunque se dé por fallido el cuarto requisito, siga pudiendo verse como un producto competitivo en el mercado y por tanto pueda merecer la pena seguir fabricándose uno propio si además se sigue una de las siguientes posturas:

- a) Venta del cuadrilátero: La competencia vende el producto más caro que lo que sale la fabricación del citado en el proyecto, pero es de suponer que lo hace para llevarse cierto margen y que este podría reducirse si se entrara en una guerra de precios. Puesto que el del proyecto no tendría tanto margen de maniobra, la estrategia a seguir si se escoge este camino será la de vender el producto a los ya citados 13300 €, obteniendo unos beneficios por venta de 515 € la primera vez (quedando amortizadas las maquinas compradas) y de **1687 €** las siguientes.

Como se observó, resulta complicado encontrar mucha oferta de este producto, por lo que el arma principal para obtener beneficios será la publicidad mediante una página llamativa en Internet (los anuncios encontrados transmiten muchas dudas acerca de la calidad del producto debido al poco interés y esmero mostrados en ello) y el boca a boca entre los distintos gimnasios y federaciones que los utilicen.

Si además se opta por fabricar uno para uso propio y no solo para venta bajo pedido, sería aconsejable seguir además el siguiente camino.

- b) Alquiler del cuadrilátero: La mejor forma de sacarle rendimiento a un cuadrilátero propio. Los beneficios como tal serán bajos, ya que de los 500 €/noche hay que descontarle los 217 € de la mano de obra, pero es posible aumentar más dicho beneficio, si se consigue patrocinadores que publicitar en los laterales del ring o sacar algún tanto por ciento de las entradas de la velada.

En cualquier caso, como mínimo, sería necesario alquilarlo 45 veces antes de amortizar los gastos, pero aunque es un número elevado de veces, el cuadrilátero permite cualquier tipo de combate, por lo que se podrían organizar veladas continuadas a lo largo del año (a 4 veladas por mes estaría resuelto).


---

Solo queda explicar los trabajos futuros que se podrían realizar en el proyecto:

- Realizar algún otro modelo: A la vista de los estudios económicos, se ha comprobado que descartar modelos basándose en la cantidad de material, no tiene por qué ser influyente. De la misma manera, intentar usar perfiles lo más pequeños posibles, tampoco tiene por qué ayudar.
- Empleo de otras herramientas de análisis: Mediante SolidWorks se ha visto que tener en cuenta elementos como las cuerdas o el caucho, juntos con aceros o madera, resulta inviable debido a la incompatibilidad de propiedades. Emplear otro programa que sí lo permita facilitará la comparación de resultados.
- No simplificar elementos: Tener en cuenta los tornillos y soldaduras en el modelo desde el principio en vez de calcularlos a posteriori.

## 8. ANEXOS:

### 8.1. Presupuesto:



**SUALSA**  
SUMINISTROS ALVAREZ, S.A.

PERFILES, VIGAS Y TUBO ESTRUCTURAL  
MALLADO, PERFORADA ELABORADA  
PANEL SANDWICH  
CHAPA DE CUBIERTA  
CORTE Y PLEGADO DE CHAPA

ALMACENES Y OFICINAS:  
C/ Homageneros, 7  
Pol. Ind. San José de Valdeira  
28824 ALDOROON (Madrid) (España)  
Telf: 91 641 23 12 - Fax: 91 641 21 89  
E-mail: info@sualsa.es  
www.sualsa.es

**FACTURA PROFORMA (PRESUPUESTO)**

**N.º**  
2150164


**FECHA**  
18- 2-2015

**COD. CLIENTE**

**DIRECCION**

**JUAN MANUEL RUIZ-GALVEZ**

**MADRID**

**EMERGENCIAS:** 

**TRANSFERENCIA BANCARIA**

ALIBAN	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	TUBO CUADRADO EST. 60*60*5.0 (5 b)	30,00	6,550	196,50
	TUBO CUADRADO EST. 60*60*6.0 (1 b)	6,00	8,870	53,22
	TUBO CUADRADO EST. 70*70*5.0 (42 b)	252,00	7,350	1.852,20
	TUBO CUADRADO EST. 200*200*5.0 (2 b)	12,00	27,500	330,00
	TUBO CUADRADO EST. 180*180*4.0 (1 b)	6,00	20,750	124,50
	PLETINA 100*5 (9 b)	216,00	0,810	174,96
	TRANSPORTES A MADRID	1,00	40,000	40,00

**2.771,38 €**  
EUR

**I.V.A. NO INCLUIDO**

**EN CASO DE CONFORMIDAD, ROGAMOS LO DEVUELVAN FIRMADO Y SELLADO POR FAX.**

SE ACEPTAN LAS CONDICIONES LEGALES DE CONTRATACIÓN AL DORSO

---

## 8.2. Bibliografía:

### 8.2.1. Libros:

- [1] Documento Básico SE-M Madera
- [2] Tableros Estructurales Derivados de la Madera. Consejo Superior de Arquitectos 2011.
- [3] Introduction to Structural Dynamics. Biggs, J.M. (1964).- Ed. McGraw-Hill, Austin, TX, USA.
- [4] Teoría de Placas y Láminas. Timoshenko, S; Woinowsky-Krieger, S. (1975).- Ed. URMO, Bilbao, España.

### 8.2.2. Artículos:

- [5] Madera Flexión Plana. Cátedra Ing. José M. Canciani
- [6] Estudio del movimiento de una llave de Judo. Profesor Ángel Ezquerro Martínez, Iván Lombardero Hernández, Alejandro Pérez Verdú, Jaime González Mateo.
- [7] Análisis Biomecánico Comparativo de la Técnica Kokyu Nage. Tesis de grado realizada por estudiantes avanzados del Instituto Superior de Educación Física en la línea de investigación de análisis biomecánico de los movimientos.
- [8] Análisis de Movimiento e Intensidad del ejercicio en rugby 15 elite masculino. Autores Luis J. Suárez, L. Javier Portillo, Francisco J. Molano, F. Javier Núñez
- [9] Análisis de Fourier para el tratamiento de señales. (XII Encuentro de Matemática y sus Aplicaciones). Por Julio Medina
- [10] Análisis de Fourier. Por F. Javier Cara. ETSII-UPM

### 8.2.3. Normativas:

- [11] Official Amateur Rulebook. FIDAM (Federación Internacional de Artes Marciales)
- [12] Reglamento de Boxeo Profesional. FEB (Federación Española de Boxeo)
- [13] Reglamentos de Competición de Sanda-SemiSanda. Spain Chinese Kuoshu Association
- [14] Reglamento de Arbitraje. AEMT (Asociación Española de Muay Thai)

- 
- [15] Reglamento General de Competencias. CIAM (Confederación Interacional de Artes Marciales)
- [16] Reglamentos de Competición. Departamento Nacional de Kung-Fu de la Real Federación Española de Karate y D.A
- [17] Reglamento Técnico y de Competencias. AIBA (Asociación Internacional de Boxeo)
- [18] Documento Básico SE-A. Seguridad Estructural Acero

#### 8.2.4. Internet:

##### 8.2.4.1. *Generales:*

- [19] <http://www.hispagimnasios.com>
- [20] <http://www.rodrigomartialarts.blogspot.com.es/p/historia-reglas-y-arbitraje.html>
- [21] <http://g-se.com/es/entrenamiento-deportes-combate/wiki/kick-boxing-su-historia>
- [22] <http://www.historiadelboxeo.com>
- [23] <http://www.muaythaiailandia.com>
- [24] <http://full-contact-bolivia.blogspot.com.es/p/historia-del-full-contact.html>
- [25] <http://www.kickboxingmma.es/historia/HISTORIADELBOXEOFANCES.htm>
- [26] <http://imgarcade.com/1/cuadrilatero-de-boxeo/>
- [27] <http://www.gimnasiofeijoo.com/>
- [28] <http://izquierdazo.com/el-pugilato-en-la-antiguedad/2144>
- [29] <http://egelesta.net/sandasanshou/2011/12/12/tecnicas-sanda-atrapas-y-proyecciones/>
- [30] <http://glen-artesmarcialeschinas.blogspot.com.es>
- [31] <http://superluchas.net/2009/02/13/las-cuerdas-de-los-rings-de-la-wwse-se-importan-desde-mexico/>
- [32] [http://www.pressing-catch.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=577&Itemid=68](http://www.pressing-catch.com/index.php?option=com_content&task=view&id=577&Itemid=68)
- [33] <http://www.plasticbages.com/caracteristicasnylon.html>



---

#### 8.2.4.2. *Fabricantes de tableros de madera:*

- [34] <http://www.sudesa.es>
- [35] <http://industriasdeltablero.com>
- [36] <http://www.tableroshuertas.es>
- [37] <http://catalogo.aki.es/madera/tableros/tableros-en-bruto>
- [38] <http://www.binderholz.com>
- [39] <http://www.bricoking.es>
- [40] <http://www.degoma.es>
- [41] <http://www.finsa.com>
- [42] <http://www.dataholz.com>

#### 8.2.4.3. *Fabricantes de pavimentos de caucho:*

- [43] <http://www.inforchess.com/juegos/pavimiento.htm>
- [44] <http://www.dissetodiseo.com>
- [45] <http://www.gomasjcm.com>
- [46] [http://www.entornourbano.es/web\\_data/productos/146/ficha\\_tecnica-146.pdf](http://www.entornourbano.es/web_data/productos/146/ficha_tecnica-146.pdf)
- [47] <http://www.dalter.com/tienda/Catalog/listing/suelos-infantiles-5856/3>
- [48] [http://www.adrada.es/interior/interior\\_suelos.html](http://www.adrada.es/interior/interior_suelos.html)
- [49] [http://www.kinele.es/losetas\\_caucho\\_exterior.html](http://www.kinele.es/losetas_caucho_exterior.html)
- [50] [http://www.elasticsuelos.com/certificados\\_suelos\\_caucho.html](http://www.elasticsuelos.com/certificados_suelos_caucho.html)
- [51] <http://www.degoma.es/es/inicio/item/35-suelos-de-goma-de-100-x-50-x-6-cm-espesor.html>

#### 8.2.4.4. *Fabricantes de perfiles de acero:*

- [52] <http://www.codiacero.com>
- [53] <http://www.hiescosa.com>
- [54] <http://www.vidalgonzalez.com>
- [55] <http://www.cdl.es>
- [56] <http://www.hierrosenmadrid.com>
- [57] <http://www.hierrossantander.com>

---

#### 8.2.4.5. *Accesorios:*

- [58] [http://www.rude-boys.com/categorias.asp?cat\\_id=1256](http://www.rude-boys.com/categorias.asp?cat_id=1256)
- [59] <http://www.boxeo.tienda/rings-boxeo/cuerda-ring-rb-28mm.html>
- [60] <http://www.cortibox.com.ar/ringdeboxeo.html>
- [61] <http://www.fibercord.es/nylon.htm>
- [62] <http://www.benimeli.es>
- [63] <http://www.la-ferreteria.es/>
- [64] <http://www.rodaunion.com>
- [65] <http://www.treber.es>
- [66] <http://www.tornilleriamalaguenal.com>
- [67] <http://www.lonatec.es/lonas/lonas-para-gimnasios-guarderias.html>
- [68] <http://www.fujimae.com/>
- [69] <http://www.aslak.es/es/catalogo>

#### 8.2.4.6. *Vendedores:*

- [70] <http://es.lonsdale.com/>
- [71] <http://www.sharkboxing.com/es/equipamiento-deportivo/rings-esquineros/ring-boxeo-profesional.html>
- [72] <http://www.habitamos.com/m/ring-de-boxeo>

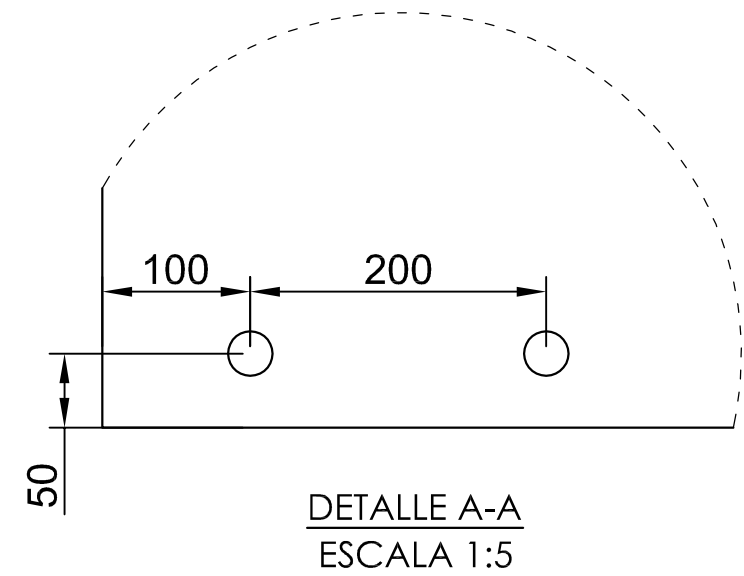
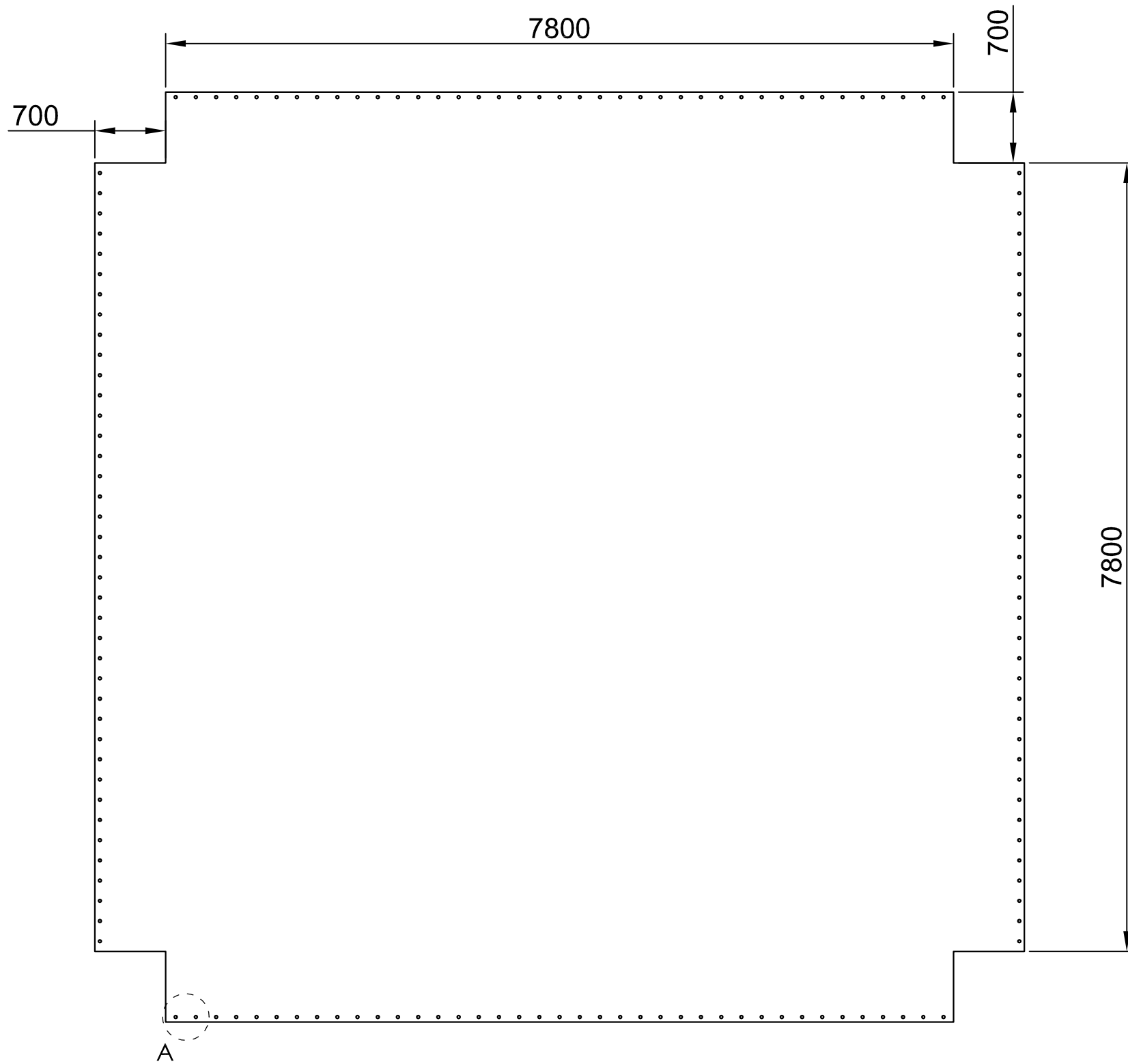
#### 8.2.4.7. *Videos:*

- [73] <https://www.youtube.com/watch?v=8mUh0fjHRXo>
- [74] <https://www.youtube.com/watch?v=M166lSExGYg>
- [75] <https://www.youtube.com/watch?v=jPlq1onZXqs>

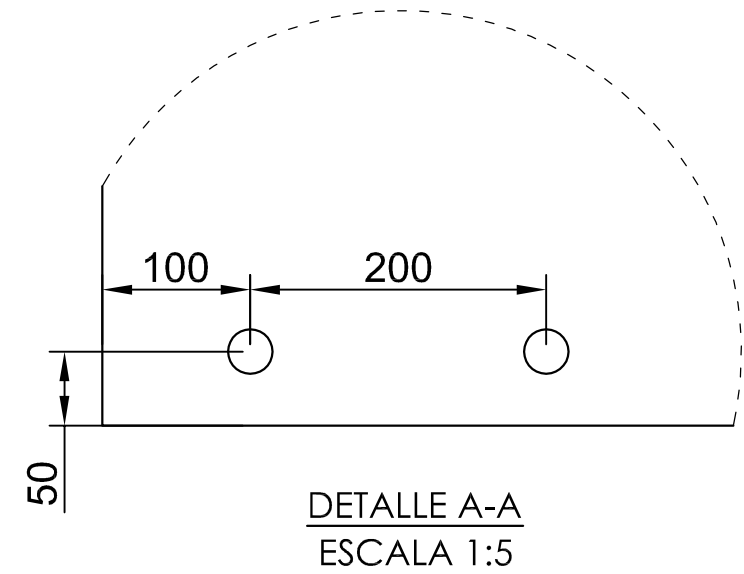
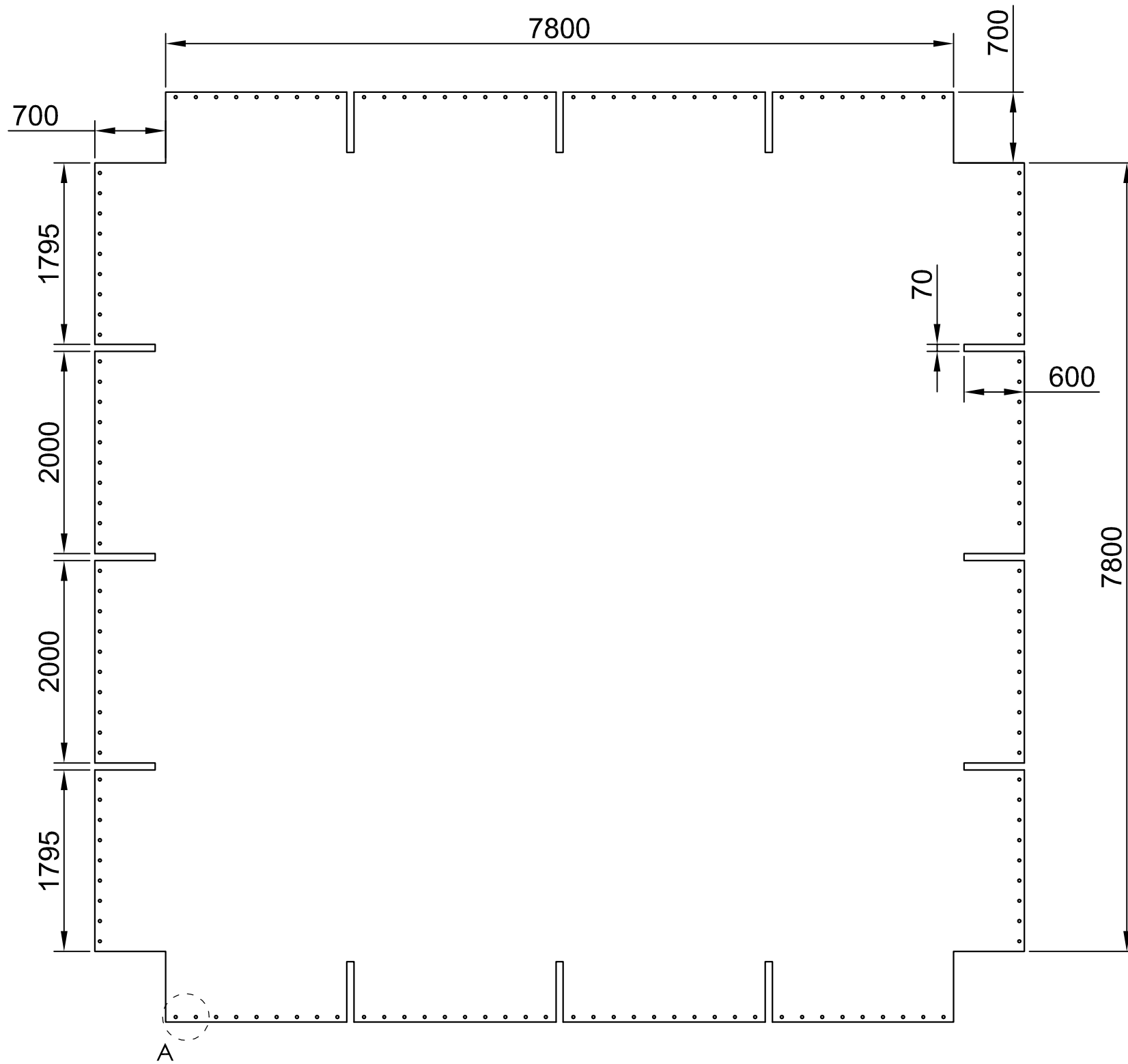
# Planos

---

<b>INDICE:</b>	<b>Página</b>
1. PLANOS DE FABRICACIÓN.....	1
2. PLANOS DE MONTAJE.....	14

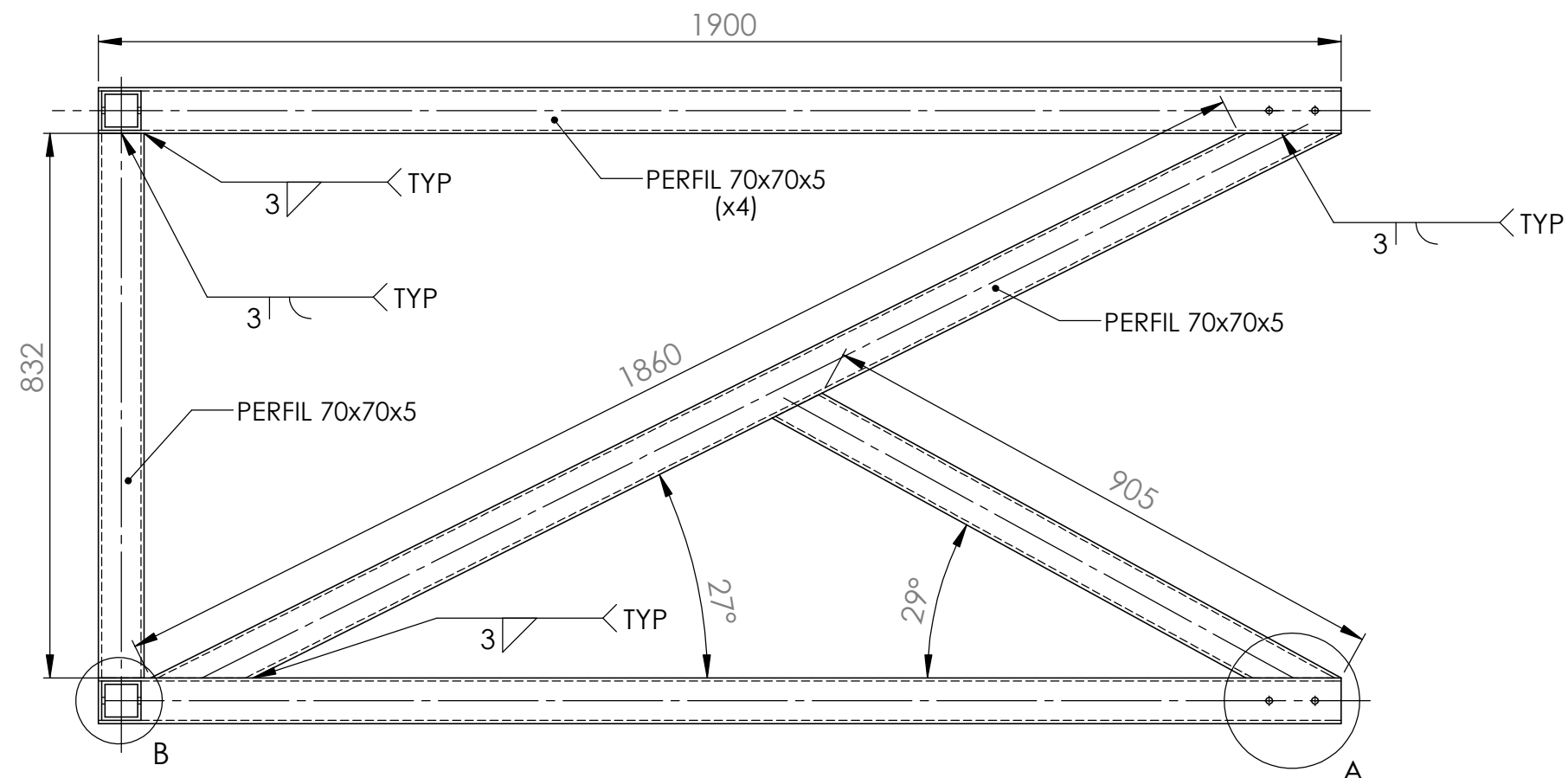


	NOMBRE	FECHA	TITULO:  <b>PLANO DE FABRICACIÓN</b>  <b>DIMENSIONES DE LA LONA</b>				
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015					
VERIF.							
APROB.							
MATERIAL:			N.º DE PLANO:		A3		
S275 JR			PFC-21-001				
PESO:	CANTIDAD:	1	ESCALA:	1:50	REVISION:	0	HOJA 1 DE 24

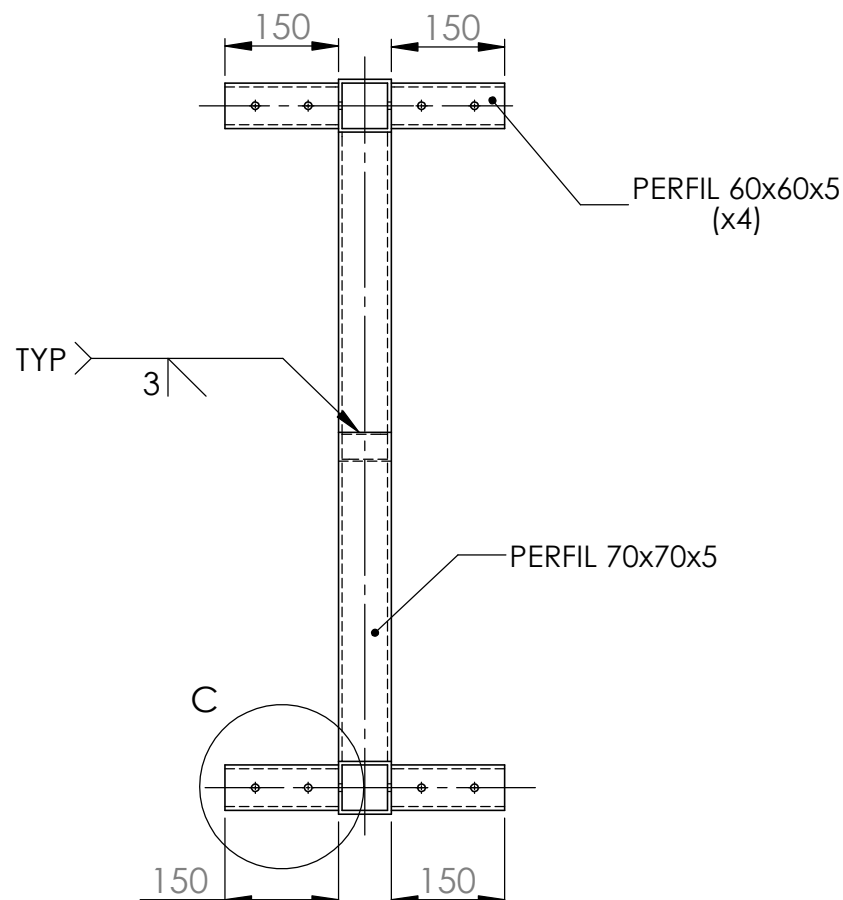


	NOMBRE	FECHA	TITULO:  <b>PLANO DE FABRICACIÓN</b> <b>DIMENSIONES DE LA LONA</b>		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015			
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO:		A3
S275 JR			PFC-21-002		
PESO:	CANTIDAD: 1	ESCALA: 1:50	REVISION: 0	HOJA 2 DE 24	

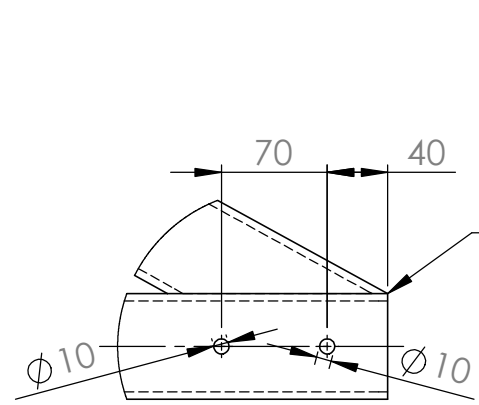




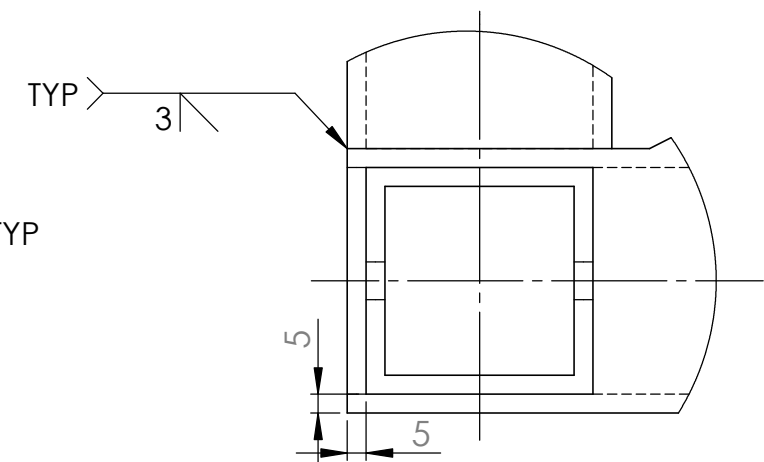
ALZADO



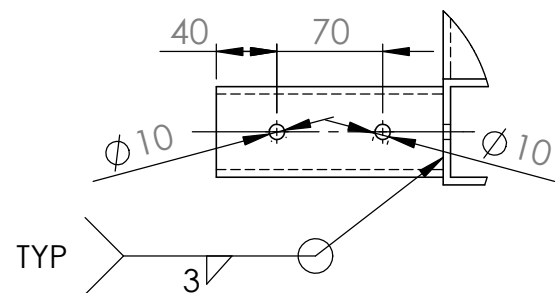
VISTA LATERAL



DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

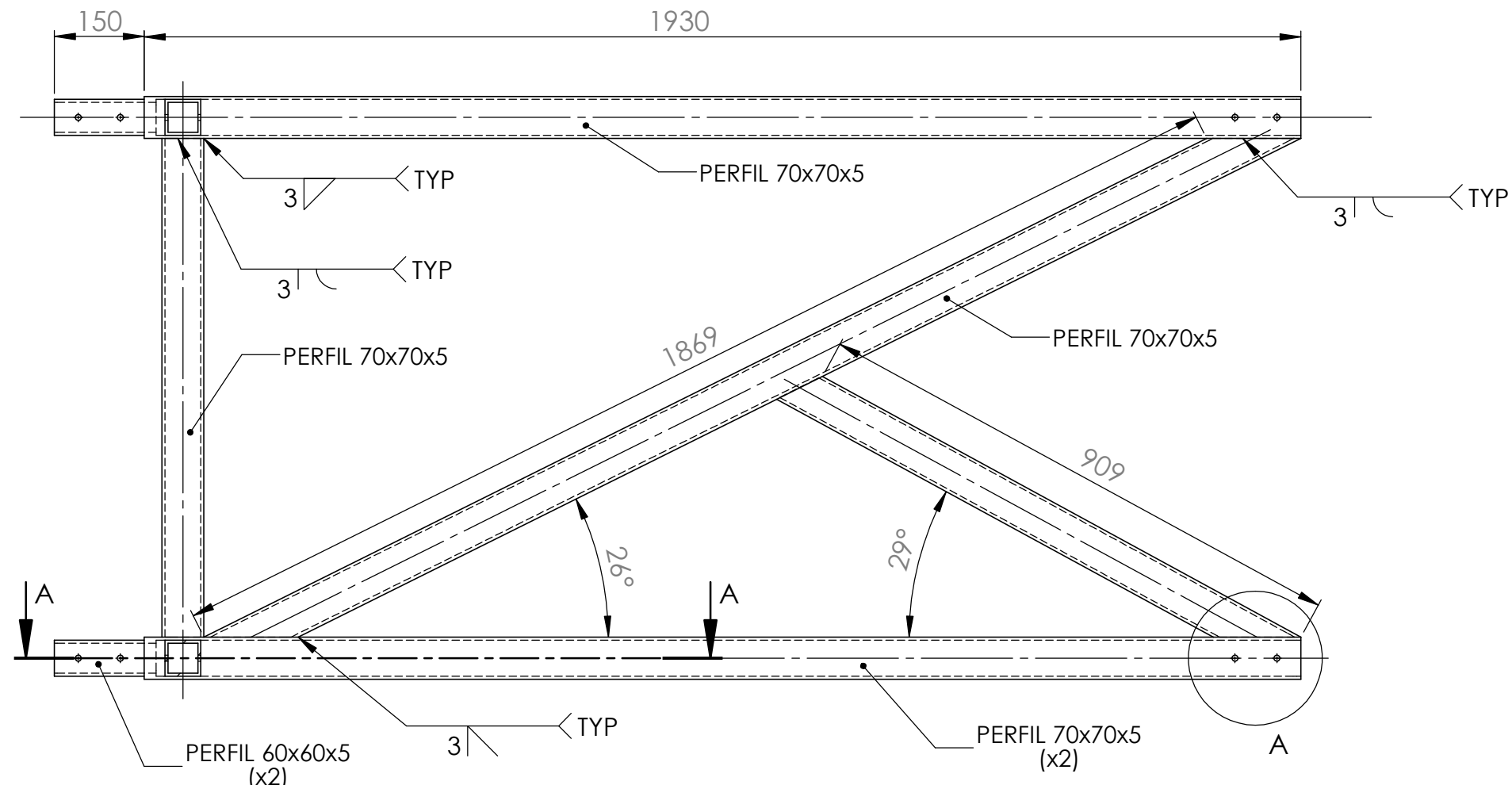


DETALLE B  
ESCALA 1 : 2

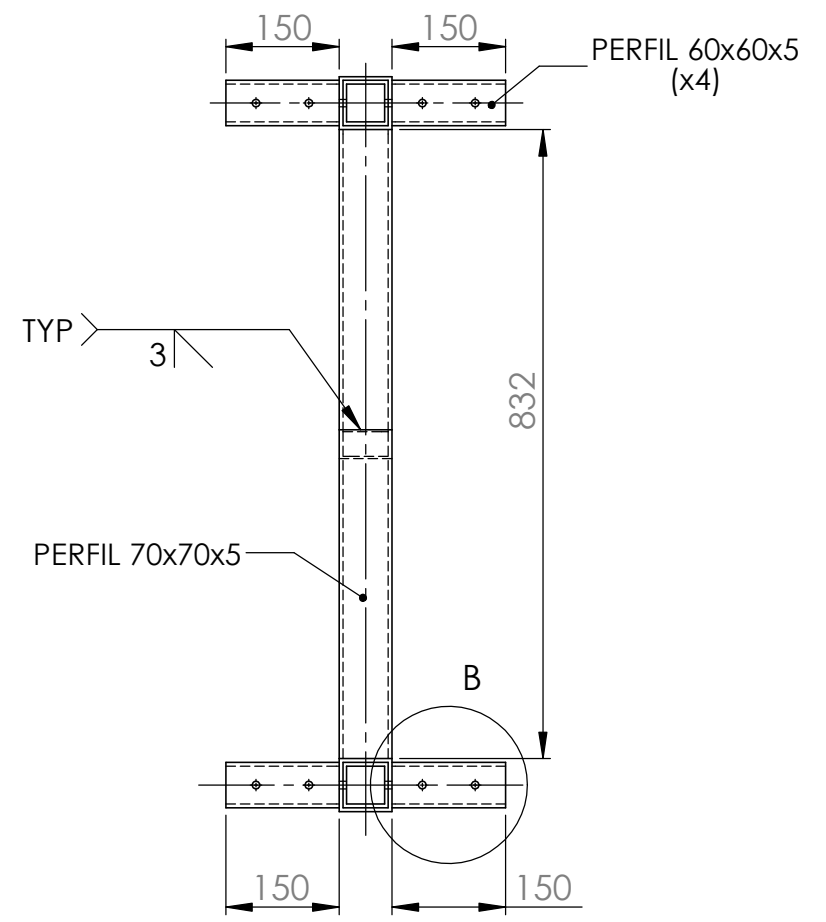


DETALLE C  
ESCALA 1 : 5

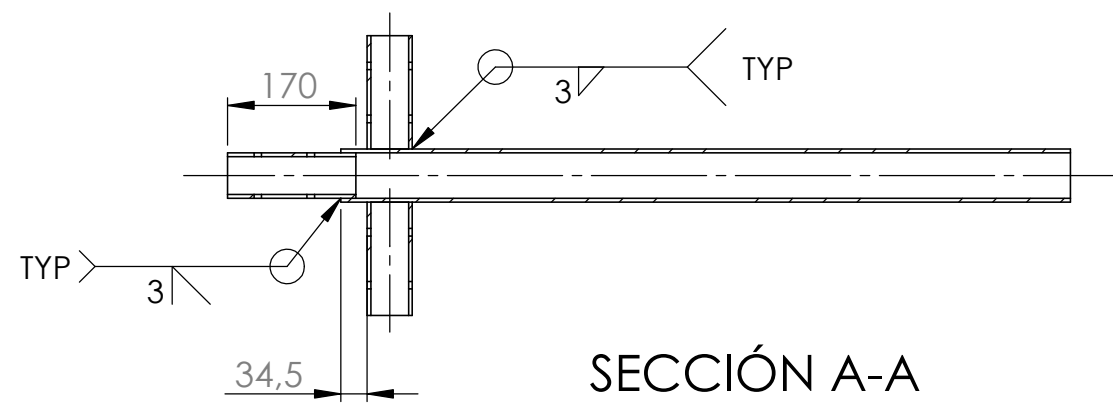
	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015	<b>PLANO DE FABRICACIÓN</b> <b>COMPONENTE 01</b>		
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO		A3
S275 JR			PFC-22-001		
PESO: 79,5 Kg	CANTIDAD: 2 Ud.	ESCALA: 1:10	REV: 0	HOJA 03 DE 24	



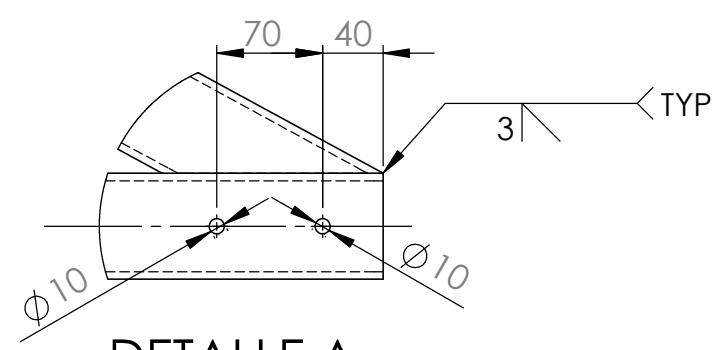
ALZADO



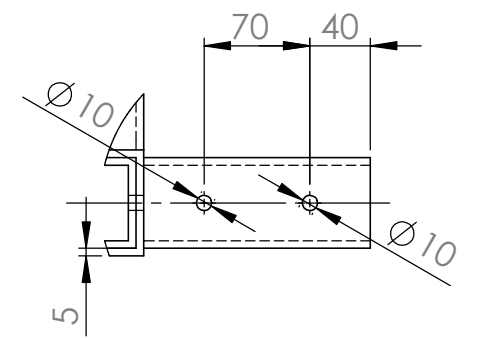
VISTA LATERAL



SECCIÓN A-A

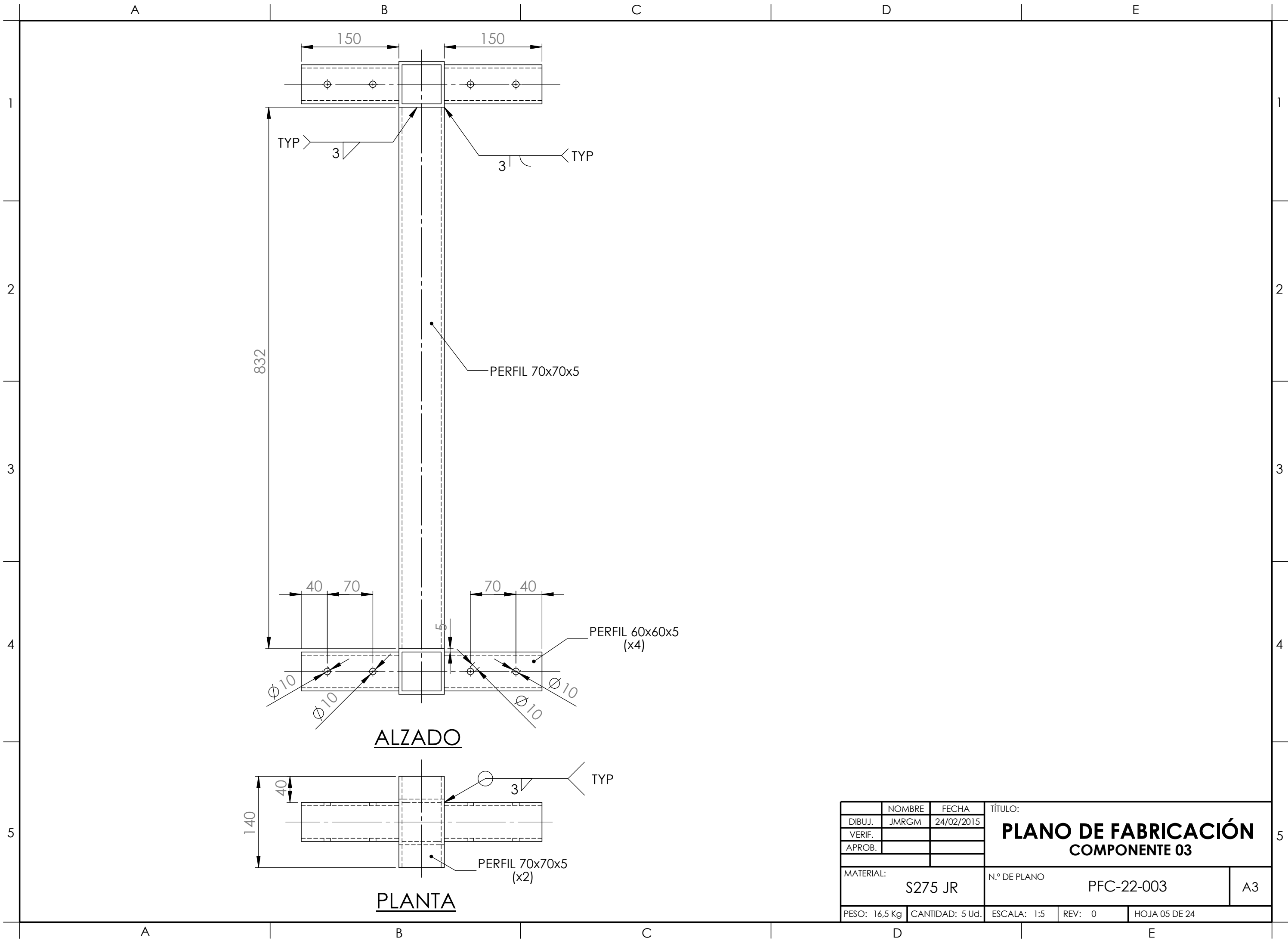


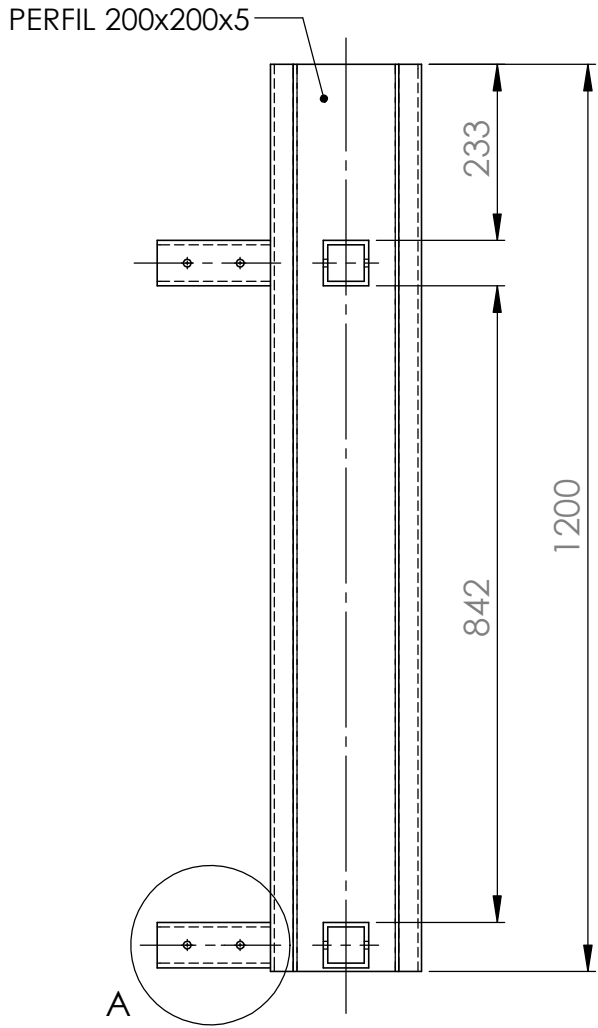
DETALLE A  
ESCALA 1 : 5



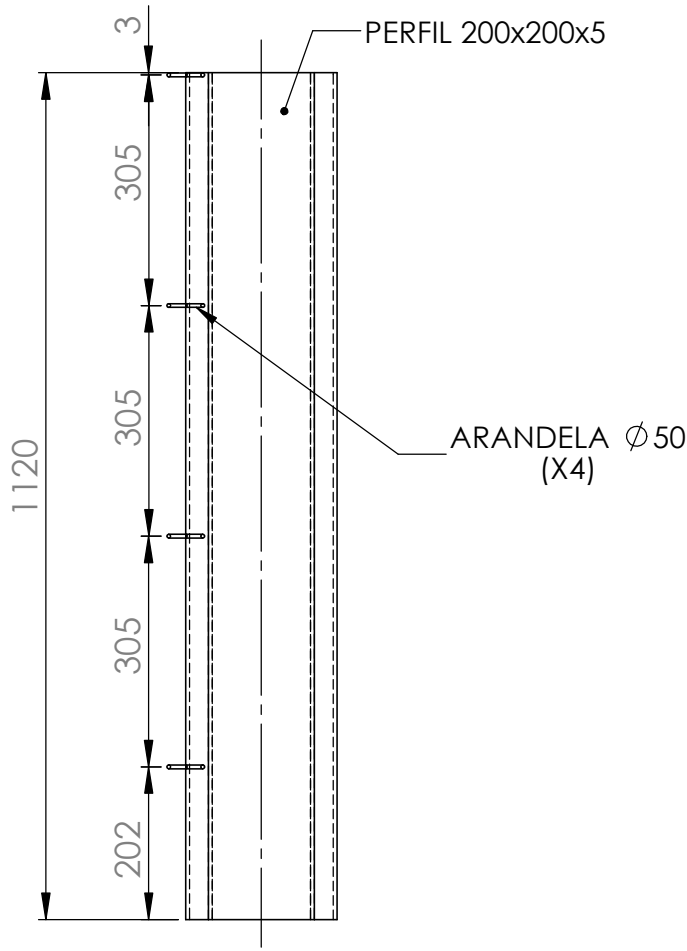
DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015	<b>PLANO DE FABRICACIÓN</b> <b>COMPONENTE 02</b>		
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO		A3
S275 JR			PFC-22-002		
PESO: 83 Kg	CANTIDAD: 2 Ud.	ESCALA: 1:10	REV: 0	HOJA 04 DE 24	

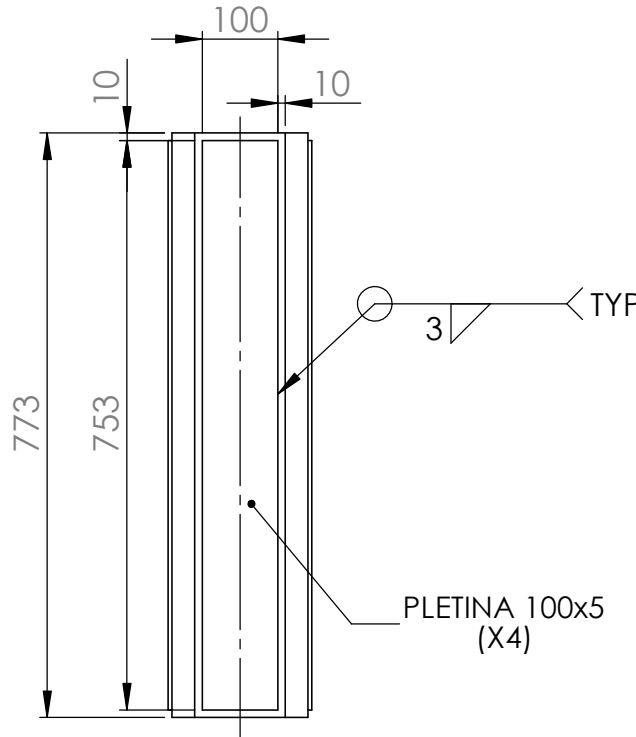




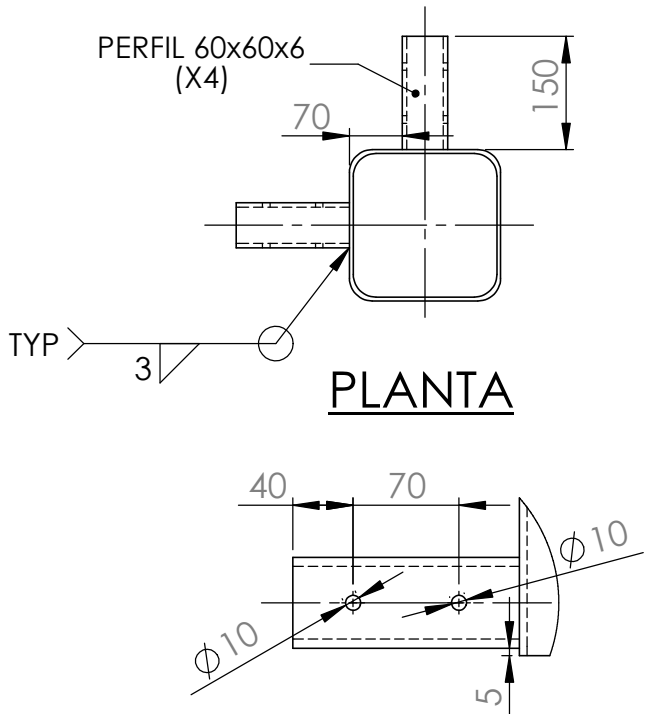
**ALZADO**  
(1 Ud. POR COMPONENTE)



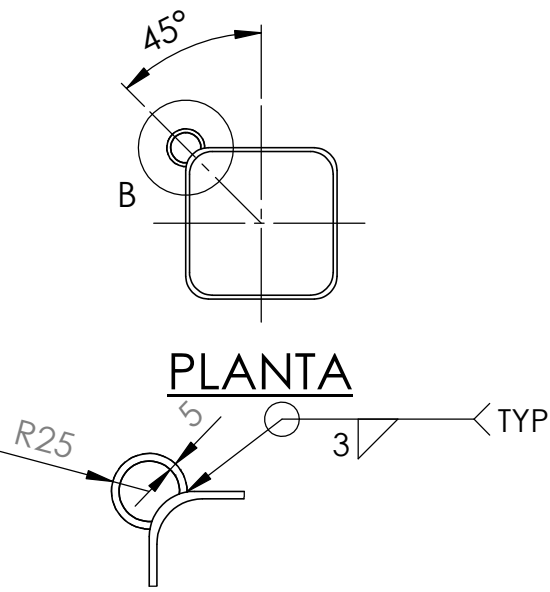
**ALZADO**  
(1 Ud. POR COMPONENTE)



**ALZADO**  
(3 Ud. POR COMPONENTE)

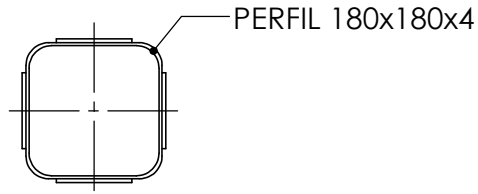


**PLANTA**

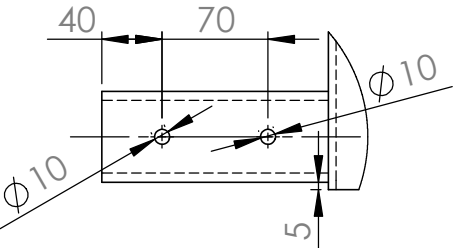


**PLANTA**

**DETALLE B**  
**ESCALA 1 : 5**

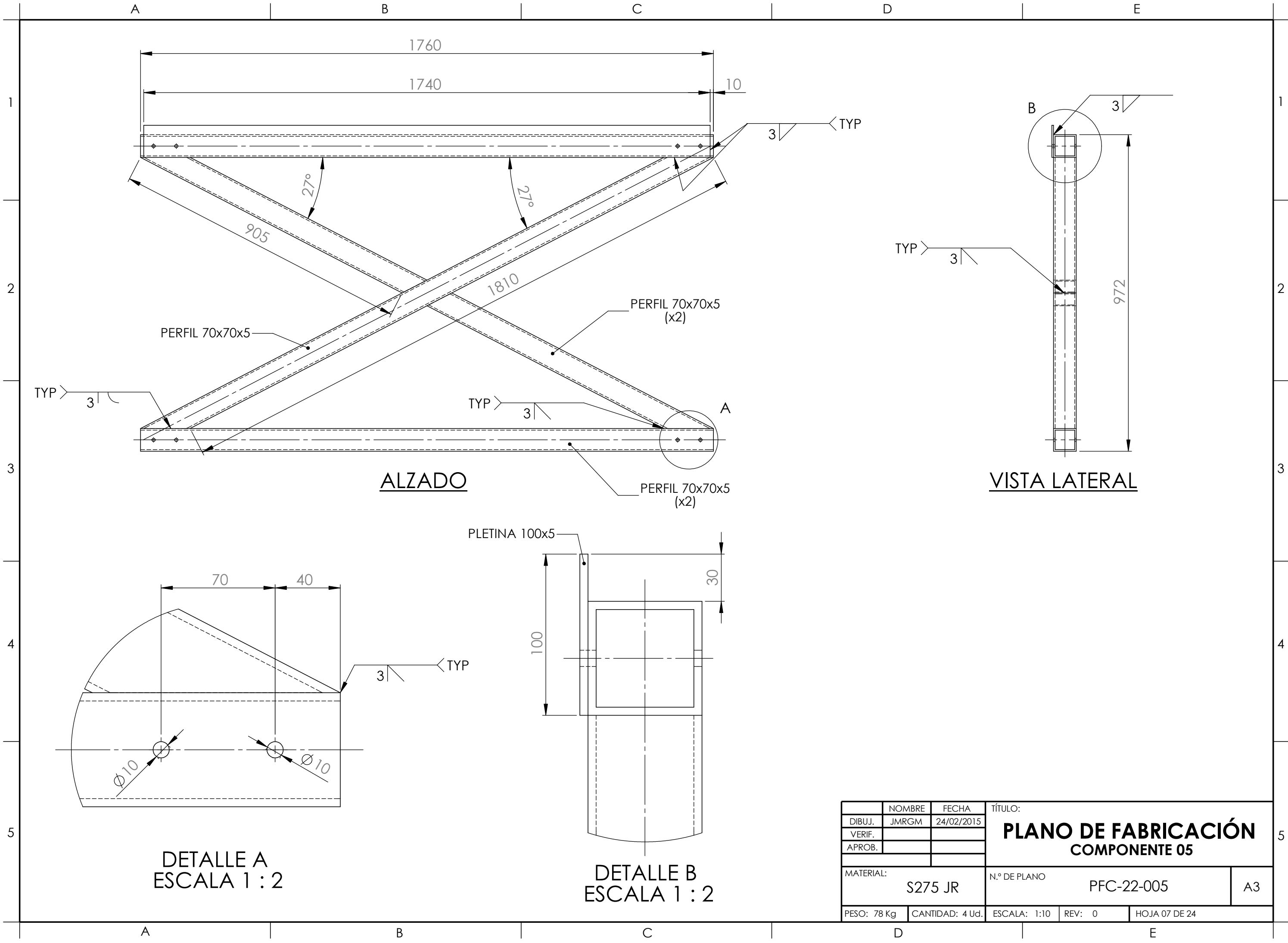


**PLANTA**

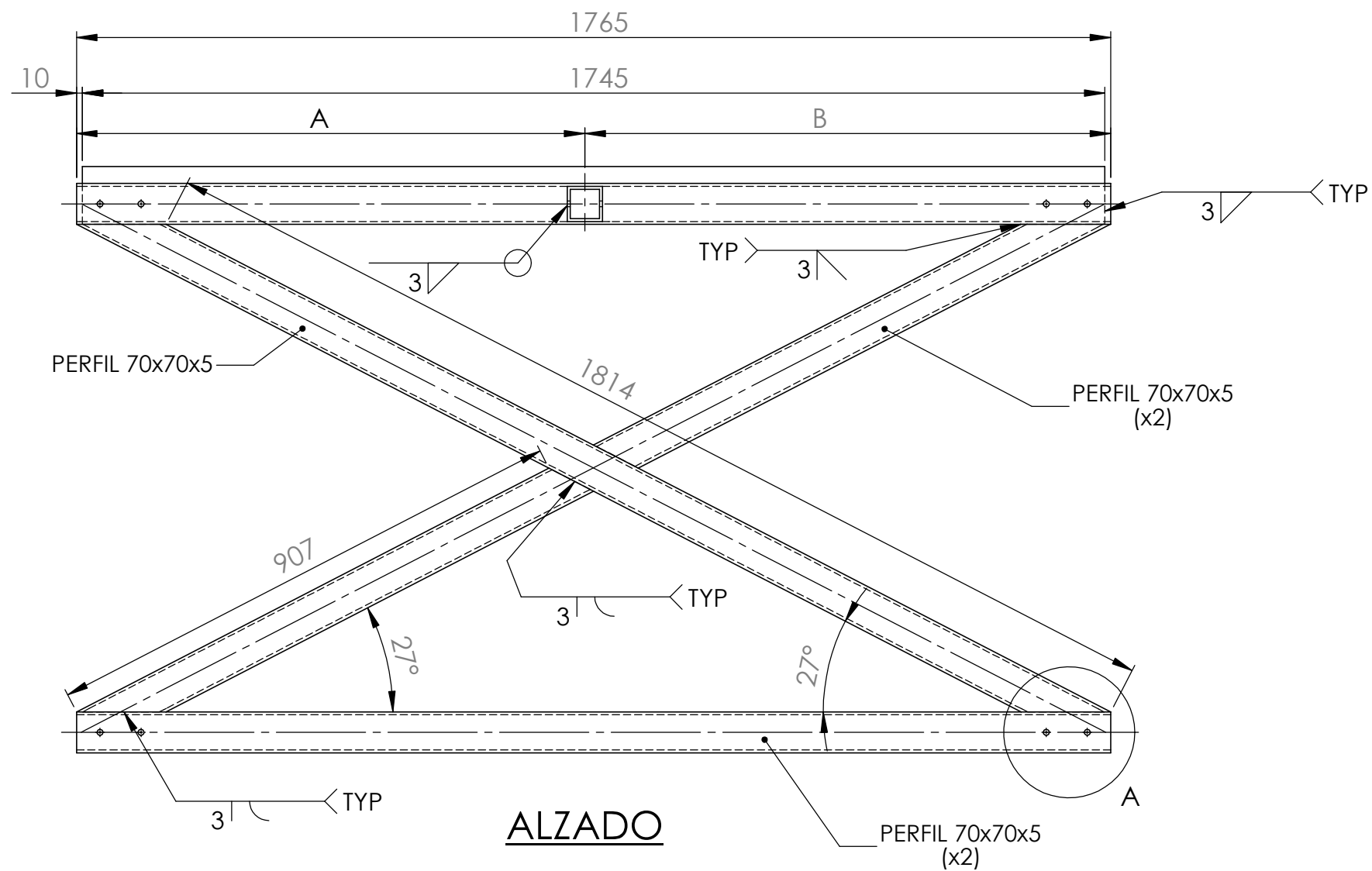


**DETALLE A**  
**ESCALA 1 : 5**

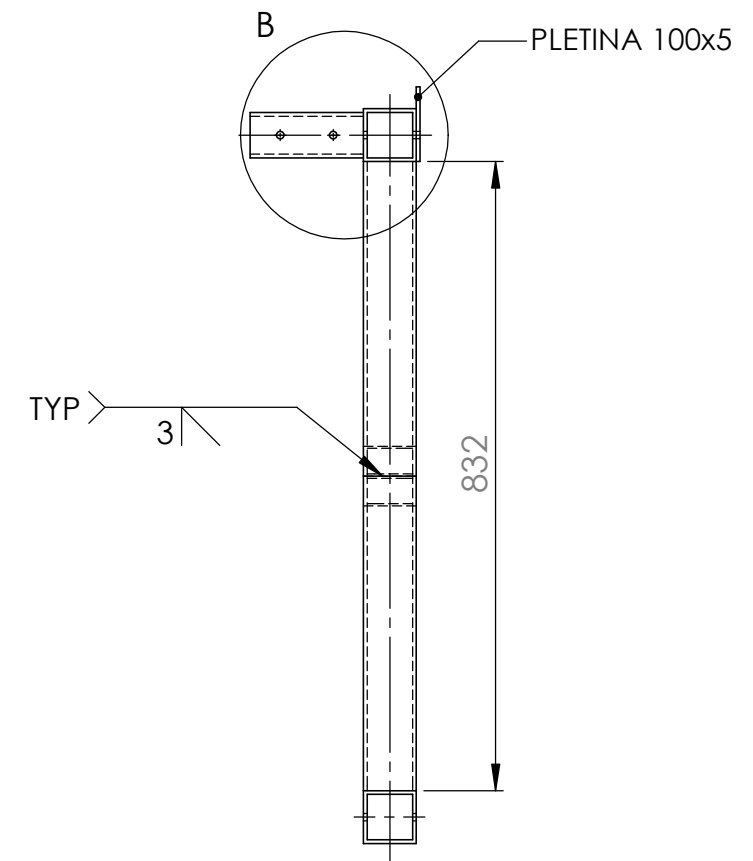
	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015	<b>PLANO DE FABRICACIÓN</b> <b>COMPONENTE 04</b>		
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO		A3
S275 JR			PFC-22-004		
PESO: NA	CANTIDAD: 4 Ud.	ESCALA: 1:10	REV: 0	HOJA 06 DE 24	



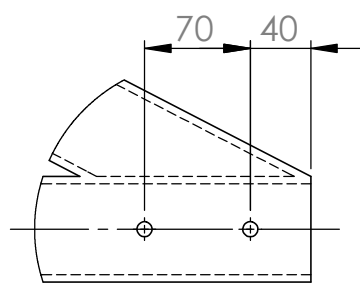
	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015	<b>PLANO DE FABRICACIÓN COMPONENTE 05</b>		
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO		A3
S275 JR			PFC-22-005		
PESO: 78 Kg	CANTIDAD: 4 Ud.	ESCALA: 1:10	REV: 0	HOJA 07 DE 24	



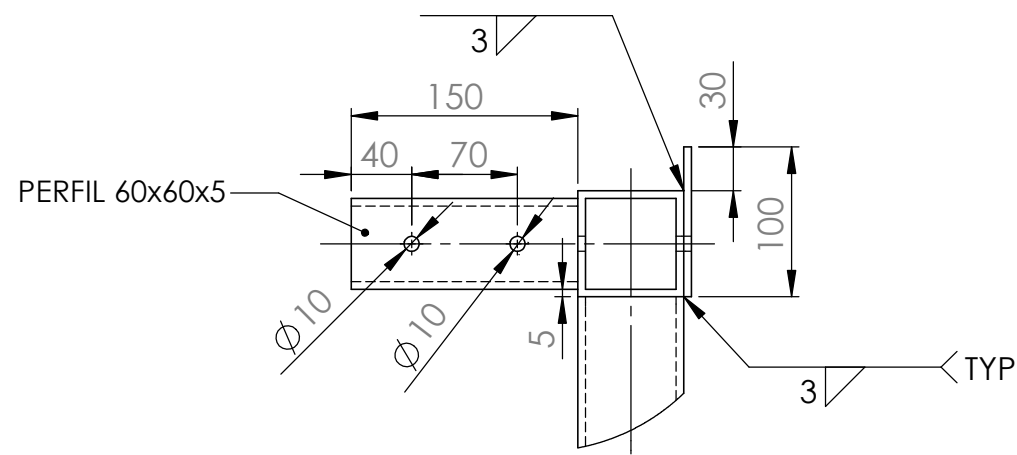
ALZADO



VISTA LATERAL



DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

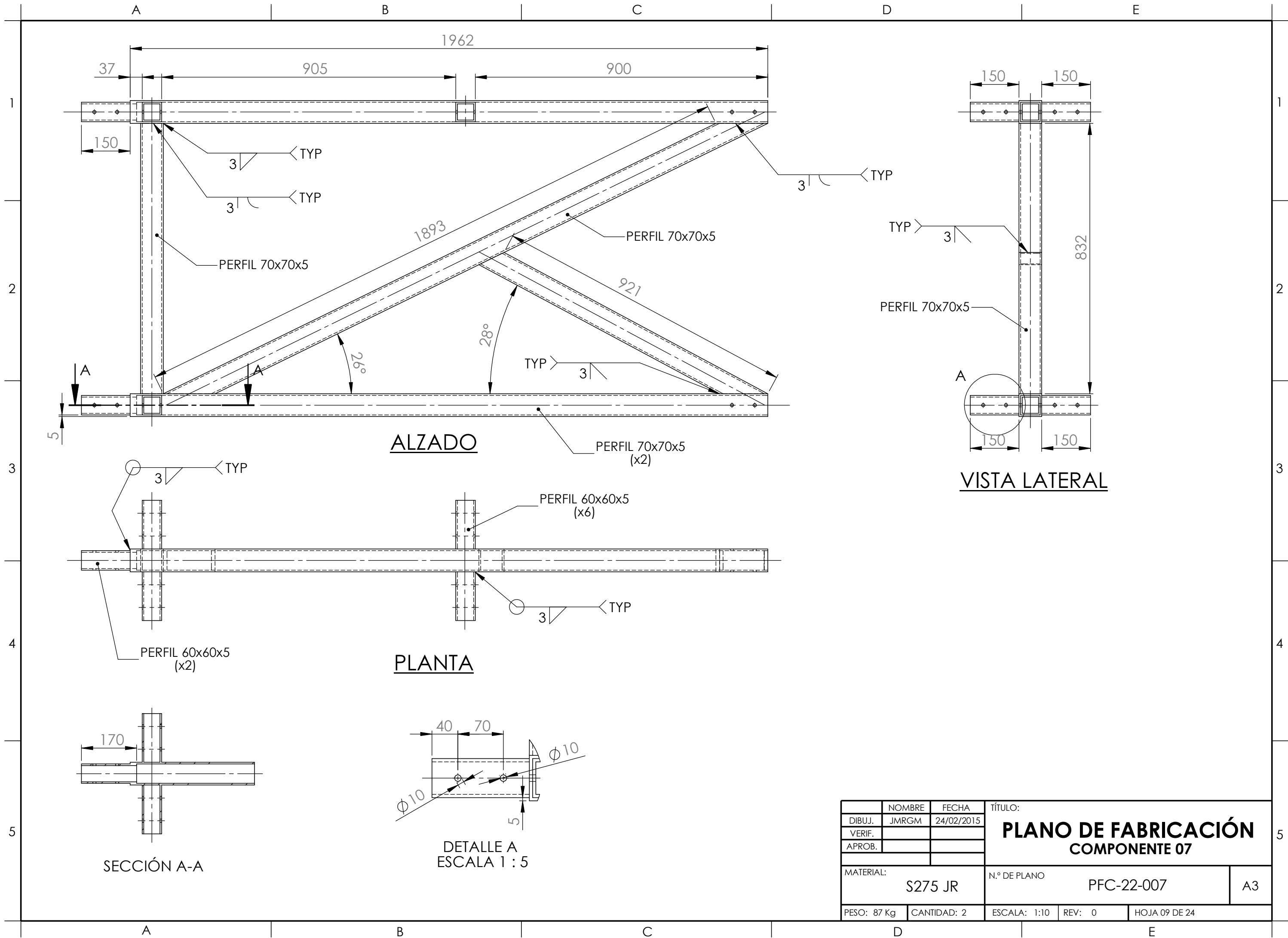


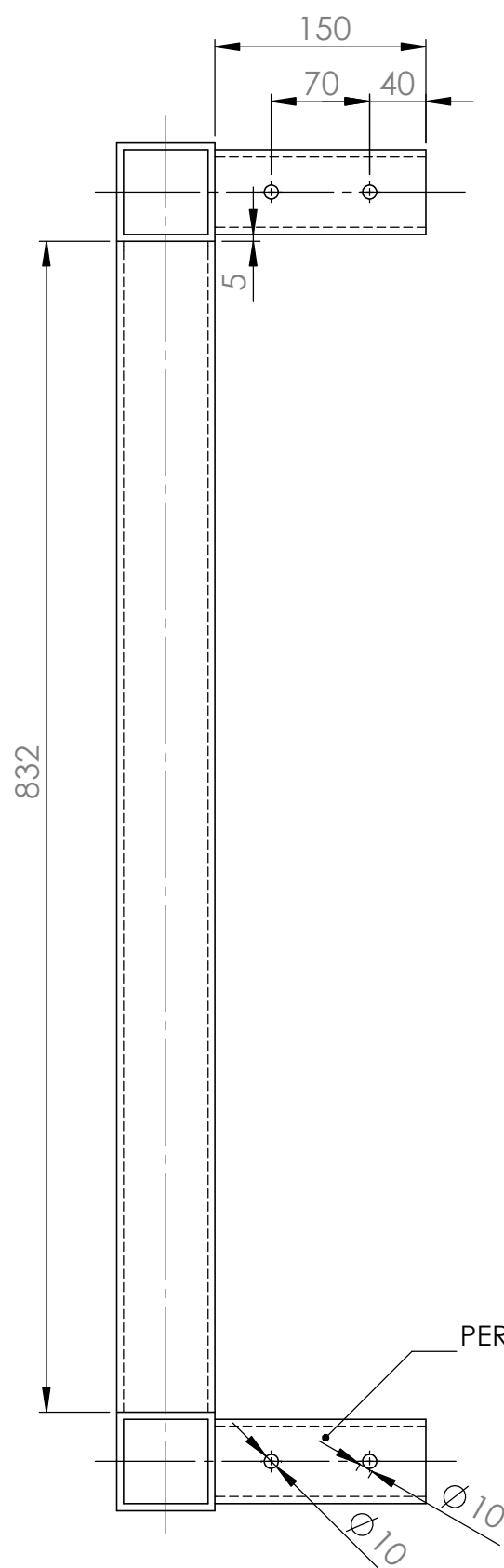
DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

TIPO	A	B	CANTIDAD
1	867 mm	898 mm	2
2	898 mm	867 mm	2

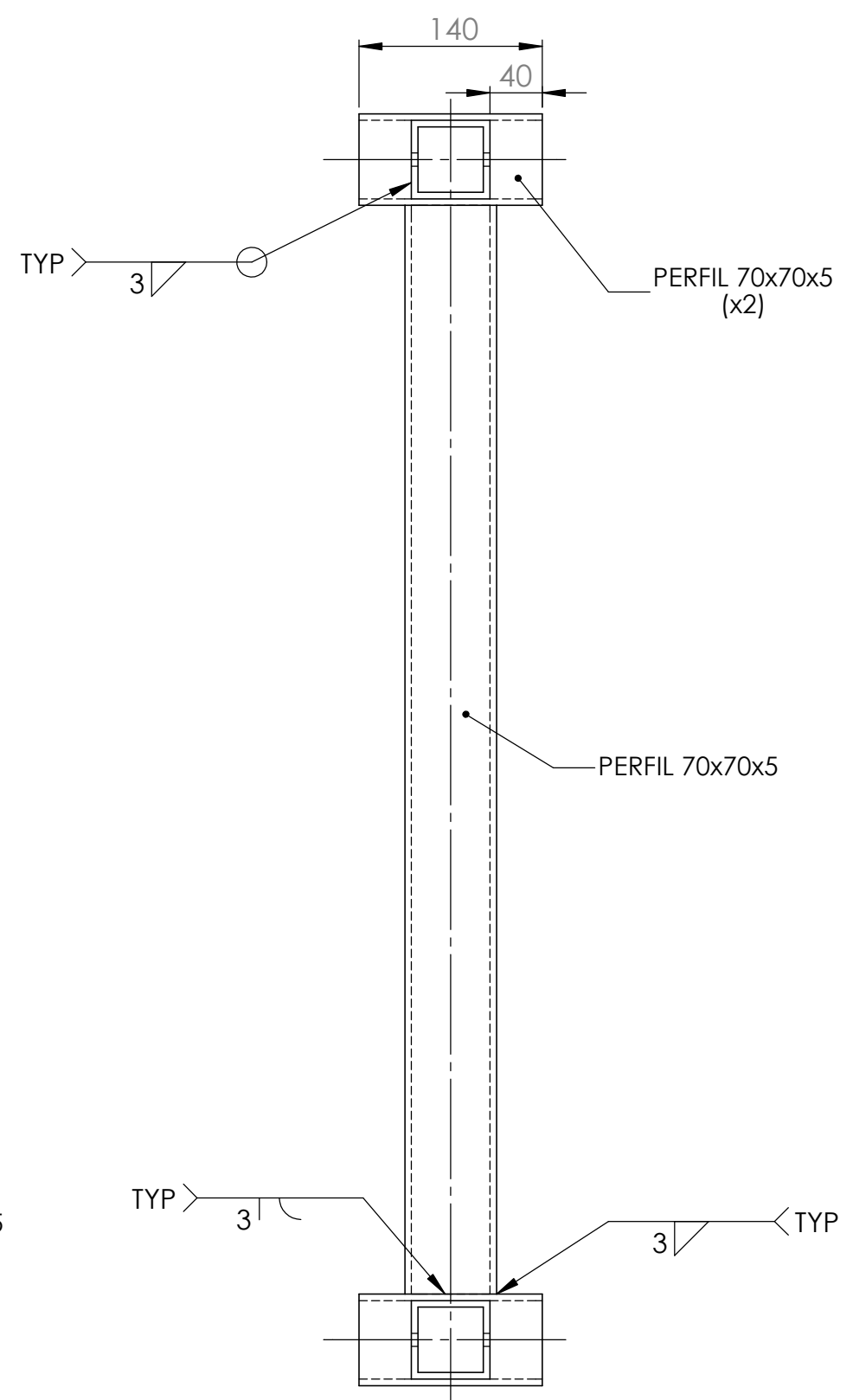
	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:  <b>PLANO DE FABRICACIÓN</b> <b>COMPONENTE 06</b>		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015			
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:  S275 JR			N.º DE PLANO  PFC-22-006		A3
PESO: 79,5 Kg	CANTIDAD: NA		ESCALA: 1:10	REV: 0	HOJA 08 DE 24





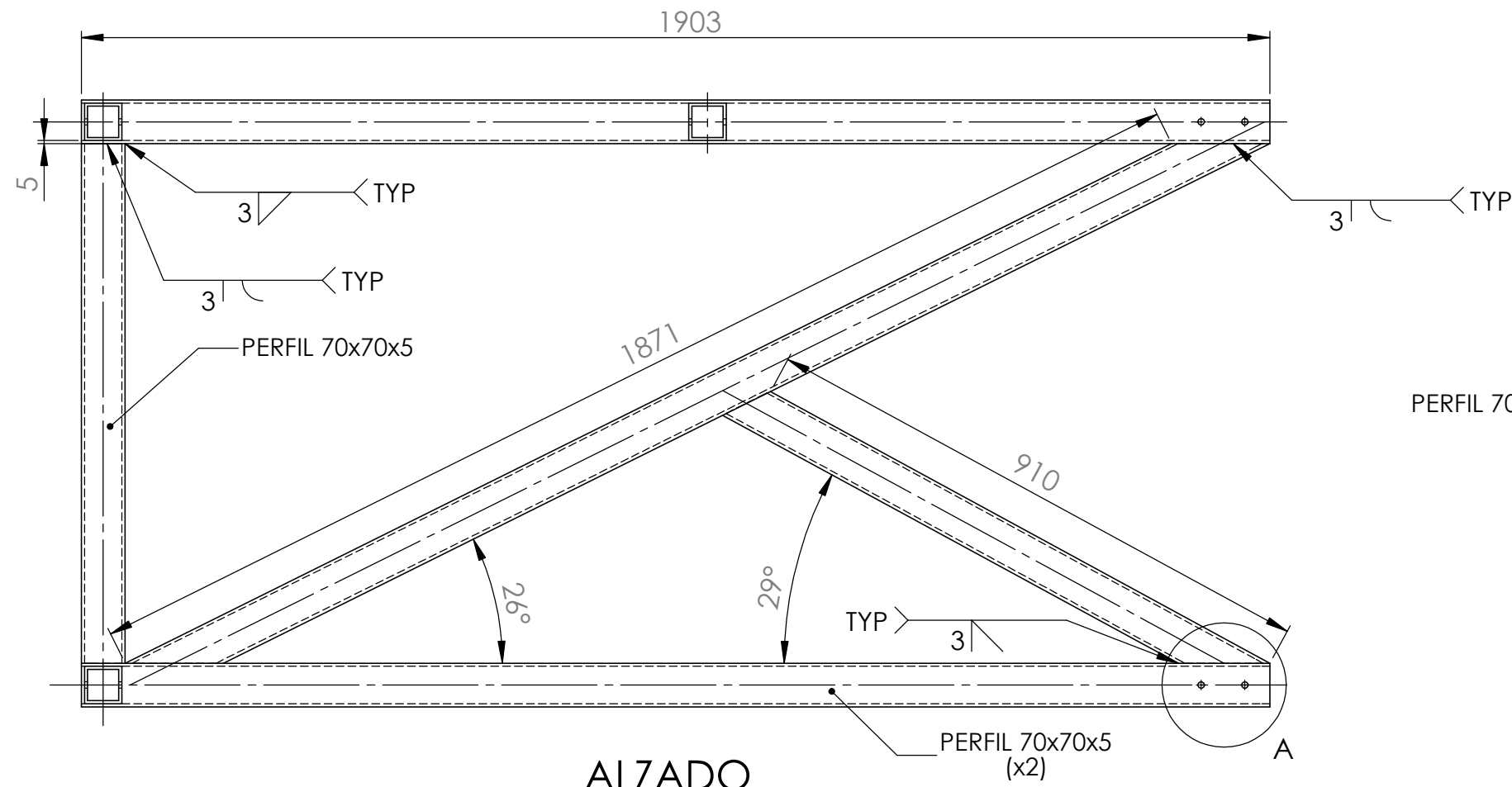


ALZADO

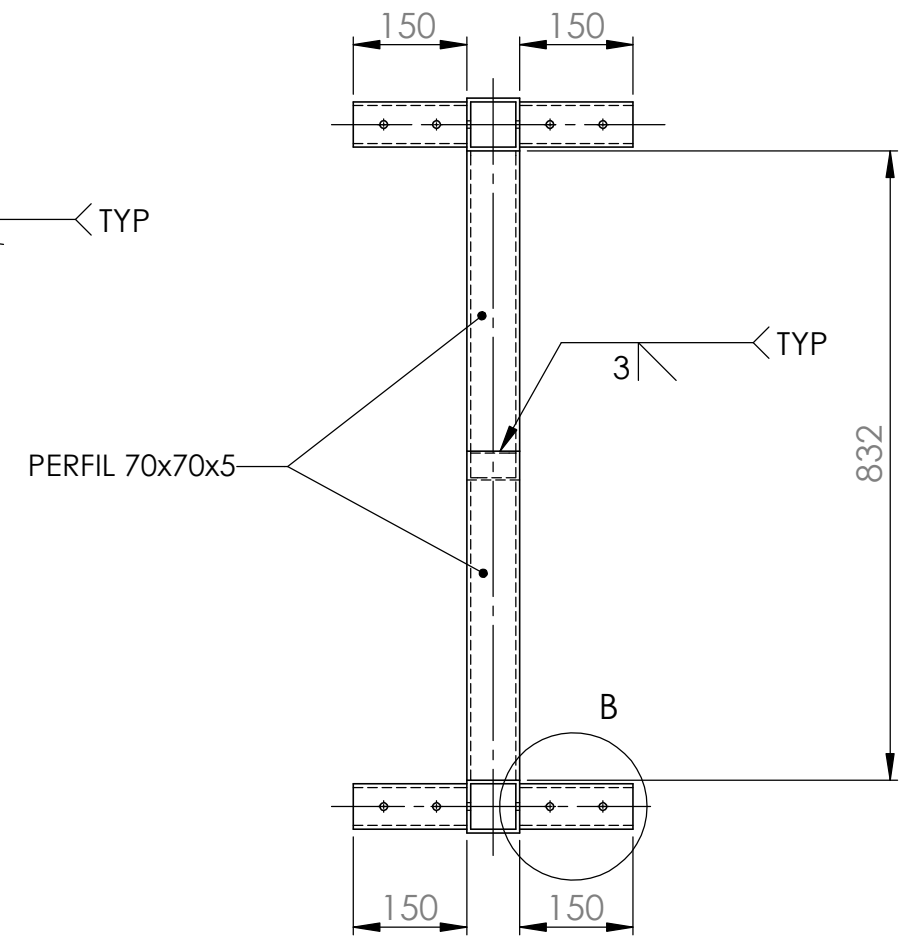


VISTA LATERAL

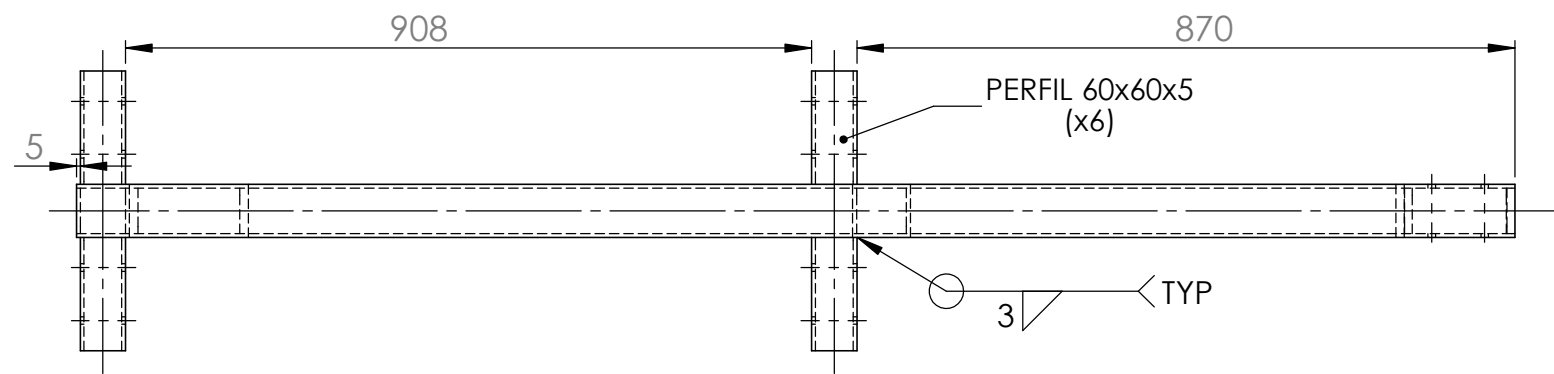
	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015	<b>PLANO DE FABRICACIÓN</b> <b>COMPONENTE 08</b>		
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO		A3
S275 JR			PFC-22-008		
PESO: 14 Kg	CANTIDAD: 8	ESCALA: 1:5	REV: 0	HOJA 10 DE 24	



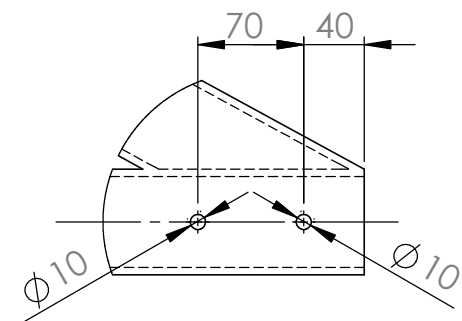
ALZADO



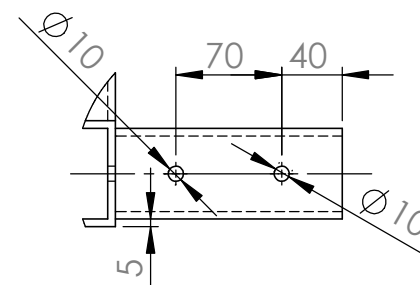
VISTA LATERAL



PLANTA

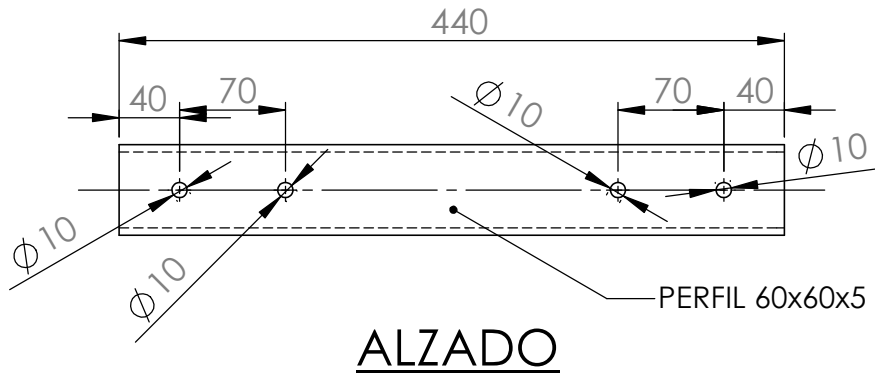


DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

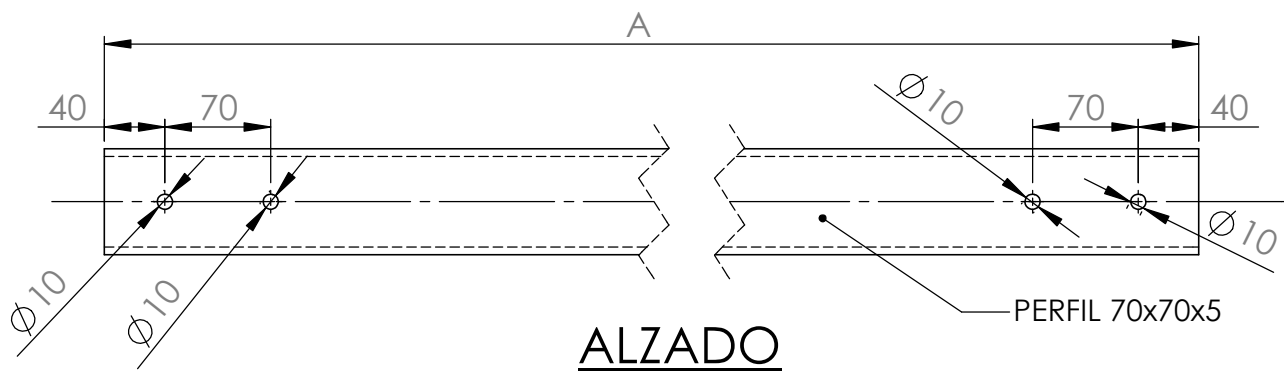


DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

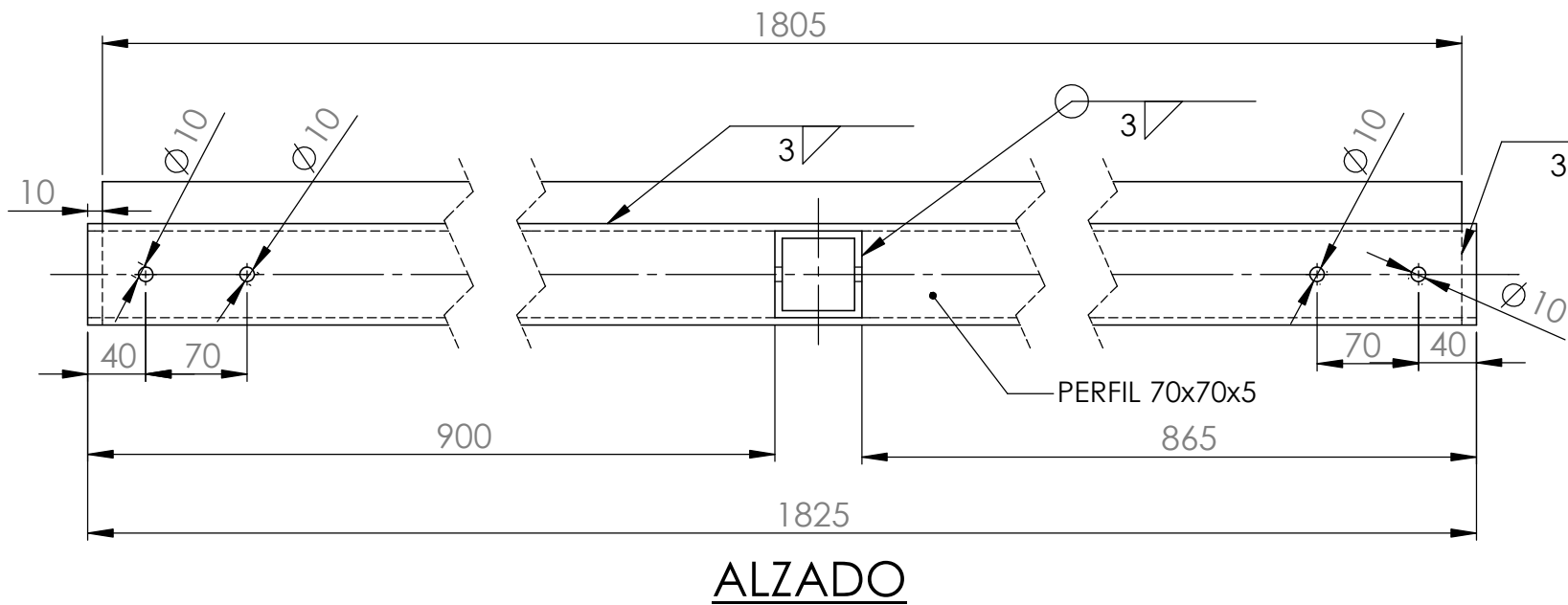
	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:  <b>PLANO DE FABRICACIÓN</b> <b>COMPONENTE 09</b>		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015			
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO		A3
S275 JR			PFC-22-009		
PESO: 82 Kg	CANTIDAD: 2		ESCALA: 1:10	REV: 0	HOJA 11 DE 24



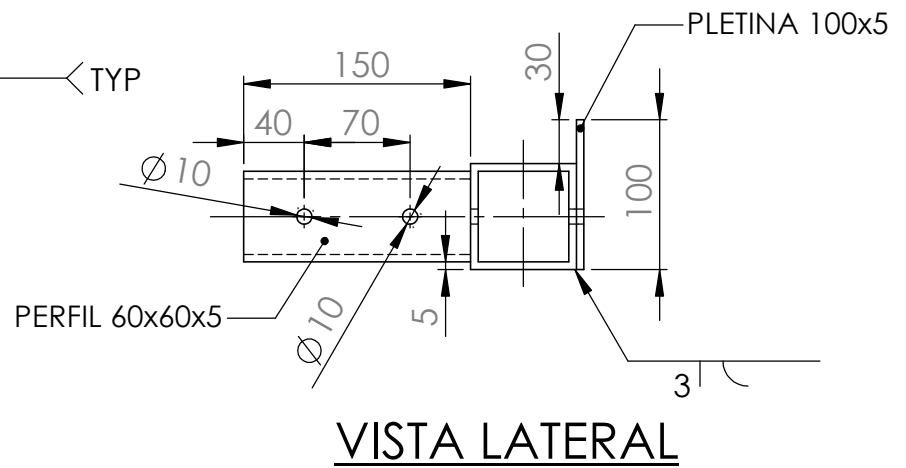
TIPO	PESO	CANTIDAD
3	4,5 Kg	26



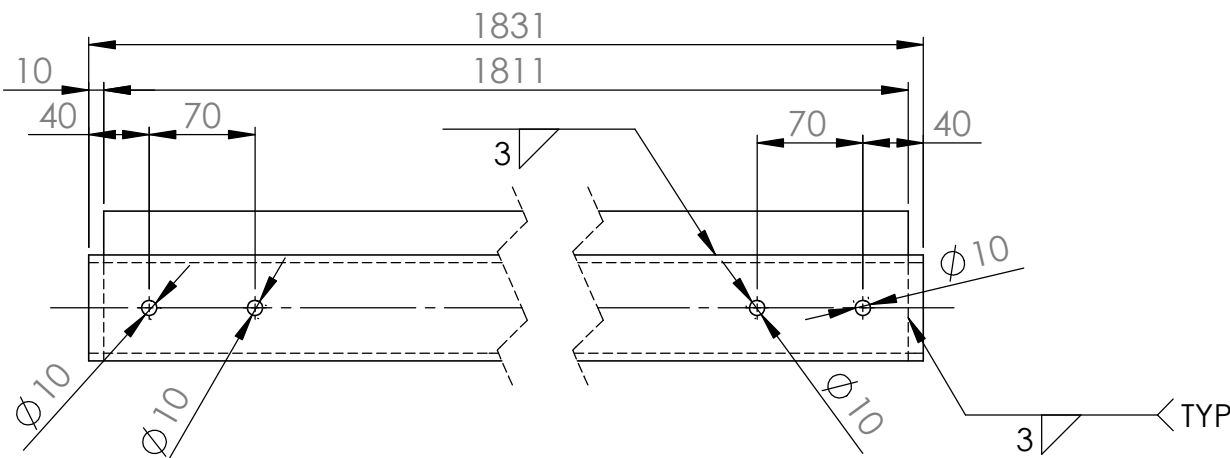
TIPO	A	PESO	CANTIDAD
4	1825 mm	18,4 Kg	8
5	1830 mm	18,5 Kg	12
6	1860 mm	18,8 Kg	12
7	1865 mm	18,8 Kg	12



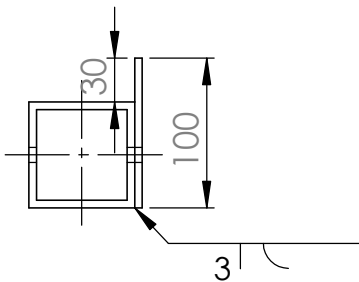
TIPO	A	B	PESO	CANTIDAD
8	900 mm	865 mm	26,6 Kg	4
9	865 mm	900 mm	26,6 Kg	4



	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015	<b>PLANO DE FABRICACIÓN</b> <b>PERFILES DE UNIÓN</b>	
VERIF.				
APROB.				
MATERIAL:			N.º DE PLANO	A3
S275 JR			PFC-22-010	
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: 1:5	REV: 0	HOJA 12 DE 24

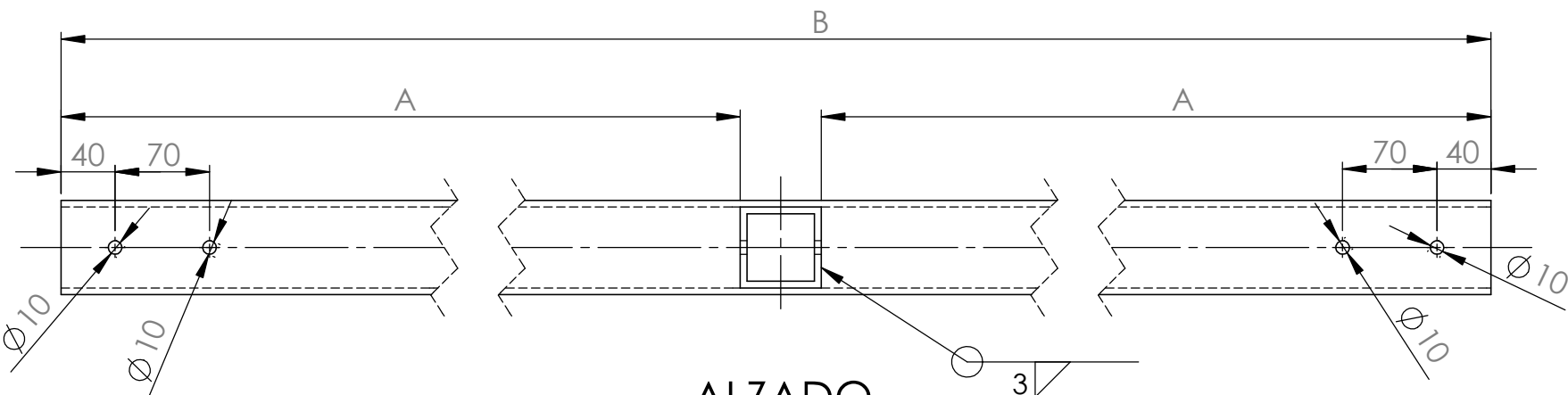


ALZADO

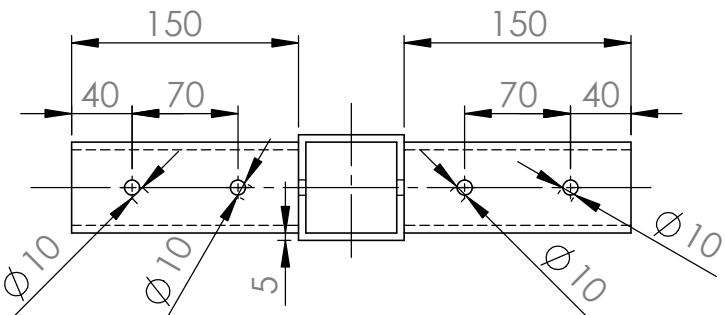


VISTA LATERAL

TIPO	PESO	CANTIDAD
10	18,5 Kg	12



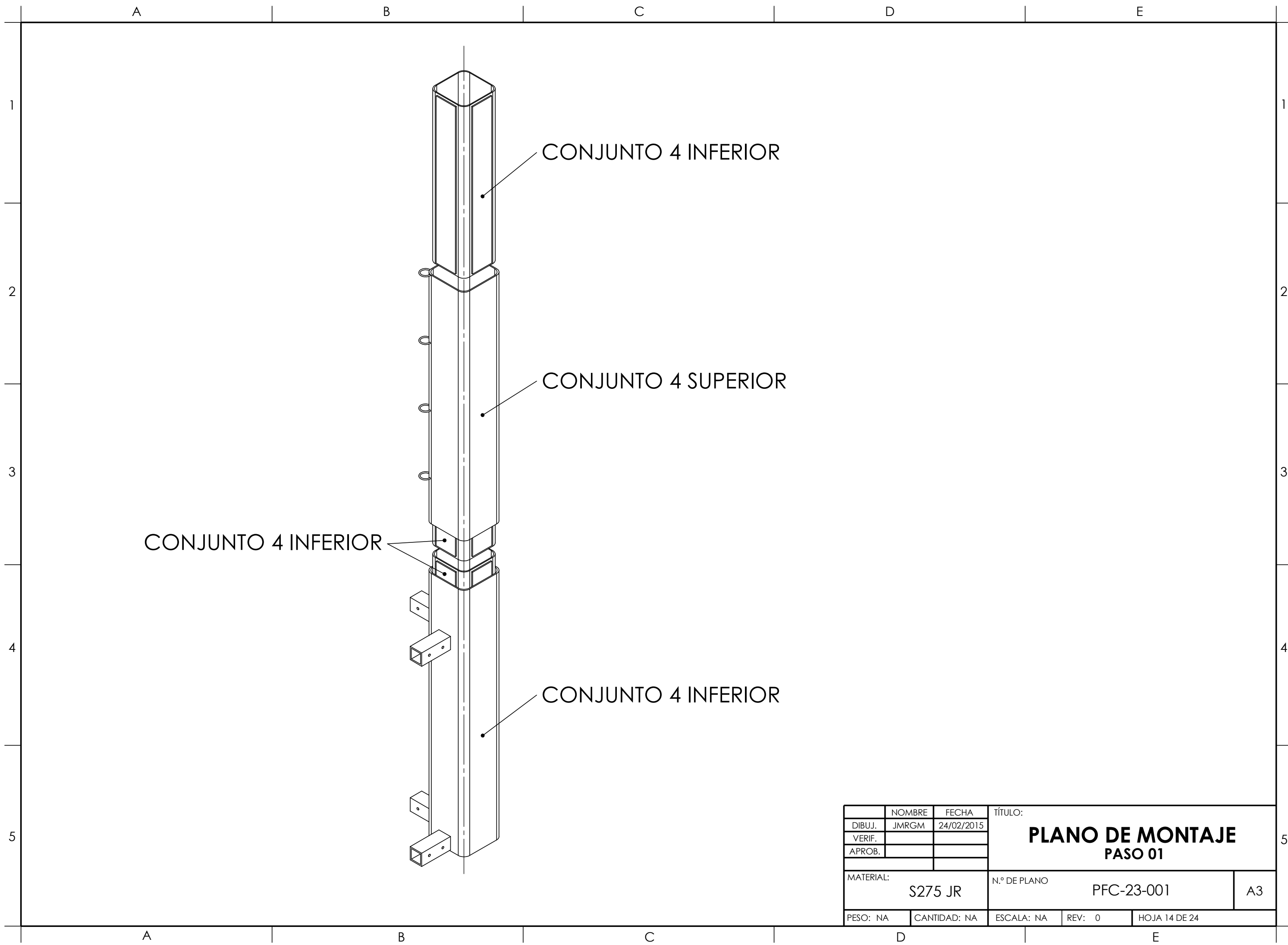
ALZADO



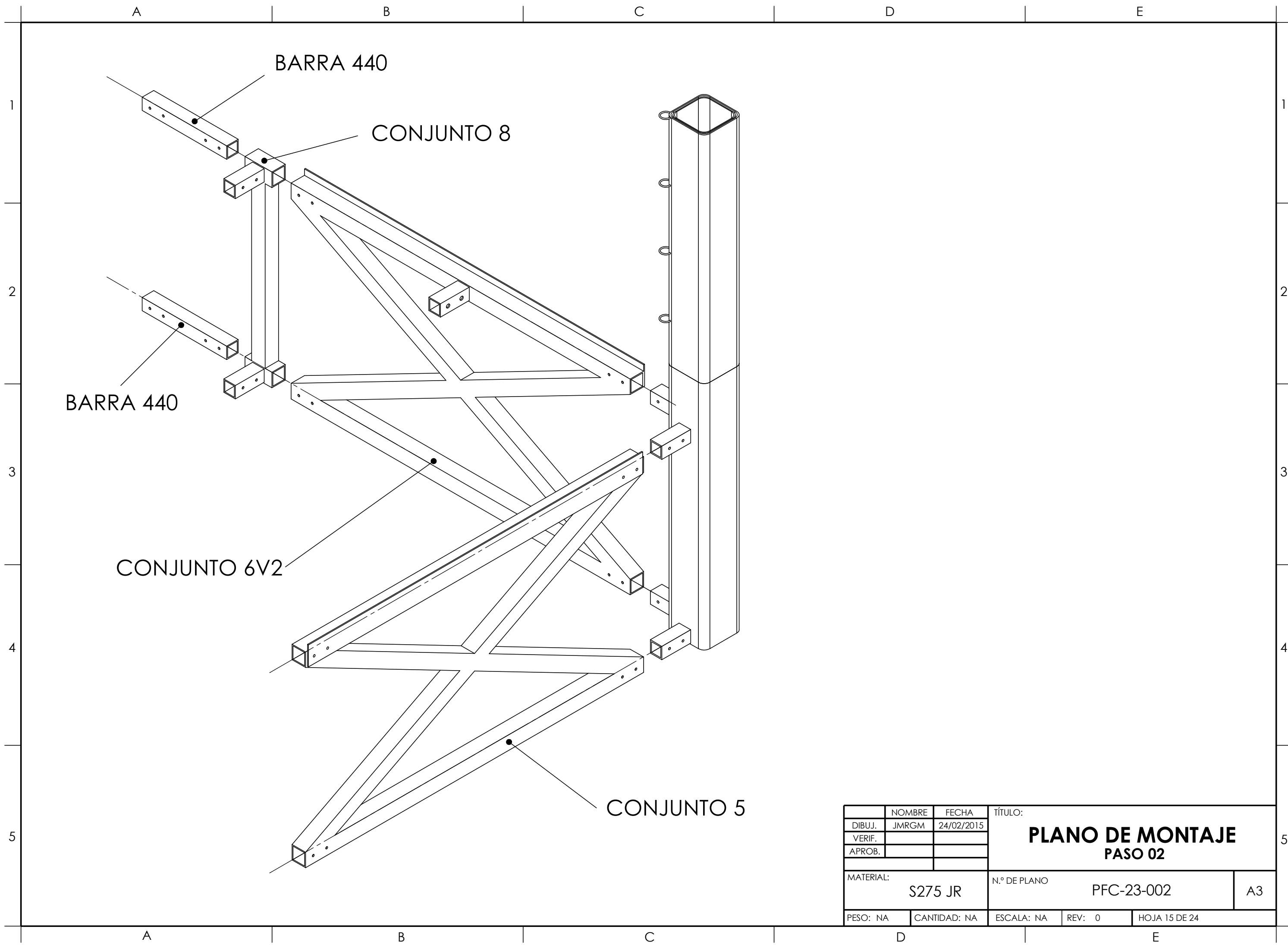
VISTA LATERAL

TIPO	A	B	PESO	CANTIDAD
8	900 mm	1860 mm	18,8 Kg	12
9	903 mm	1865 mm	21,3 Kg	4

	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015	<b>PLANO DE FABRICACIÓN</b> <b>PERFILES DE UNIÓN</b>		
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO		A3
S275 JR			PFC-22-011		
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: 1:5	REV: 0	HOJA 13 DE 24	

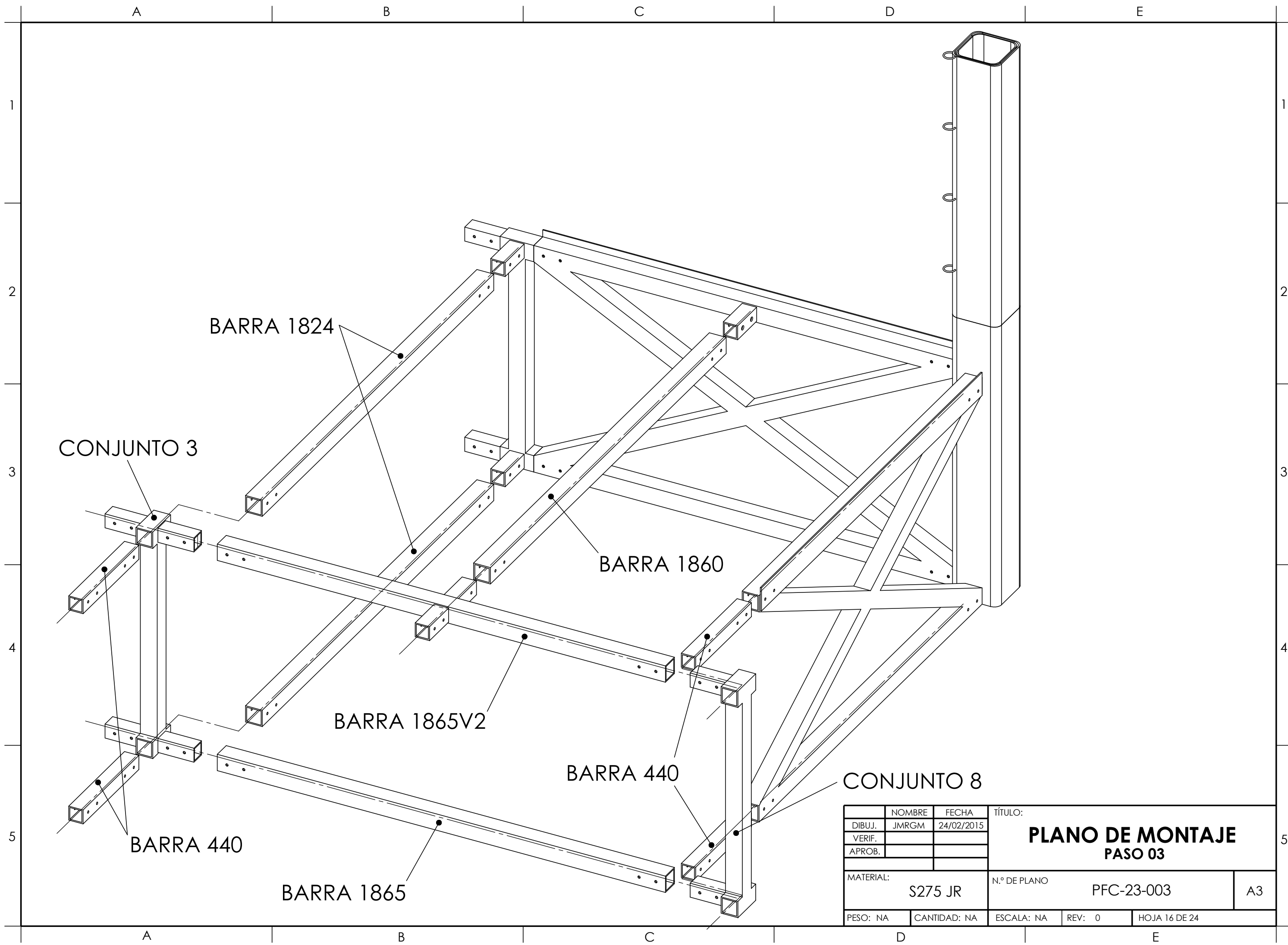


	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:  <b>PLANO DE MONTAJE</b> <b>PASO 01</b>		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015			
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:  S275 JR			N.º DE PLANO  PFC-23-001		A3
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: NA	REV: 0	HOJA 14 DE 24	

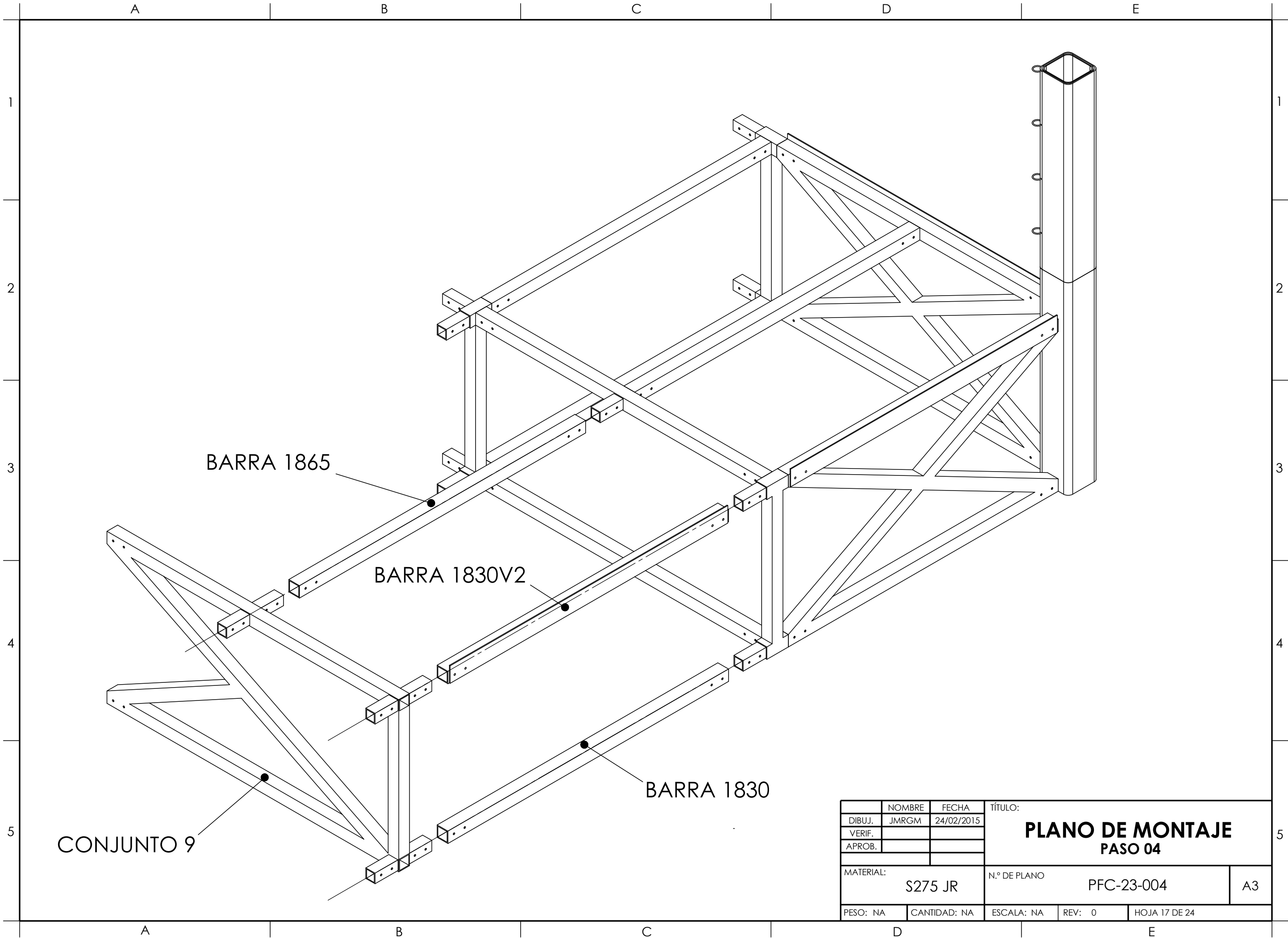


	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:  <b>PLANO DE MONTAJE</b> <b>PASO 02</b>		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015			
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:  S275 JR			N.º DE PLANO  PFC-23-002		A3
PESO: NA	CANTIDAD: NA		ESCALA: NA	REV: 0	HOJA 15 DE 24

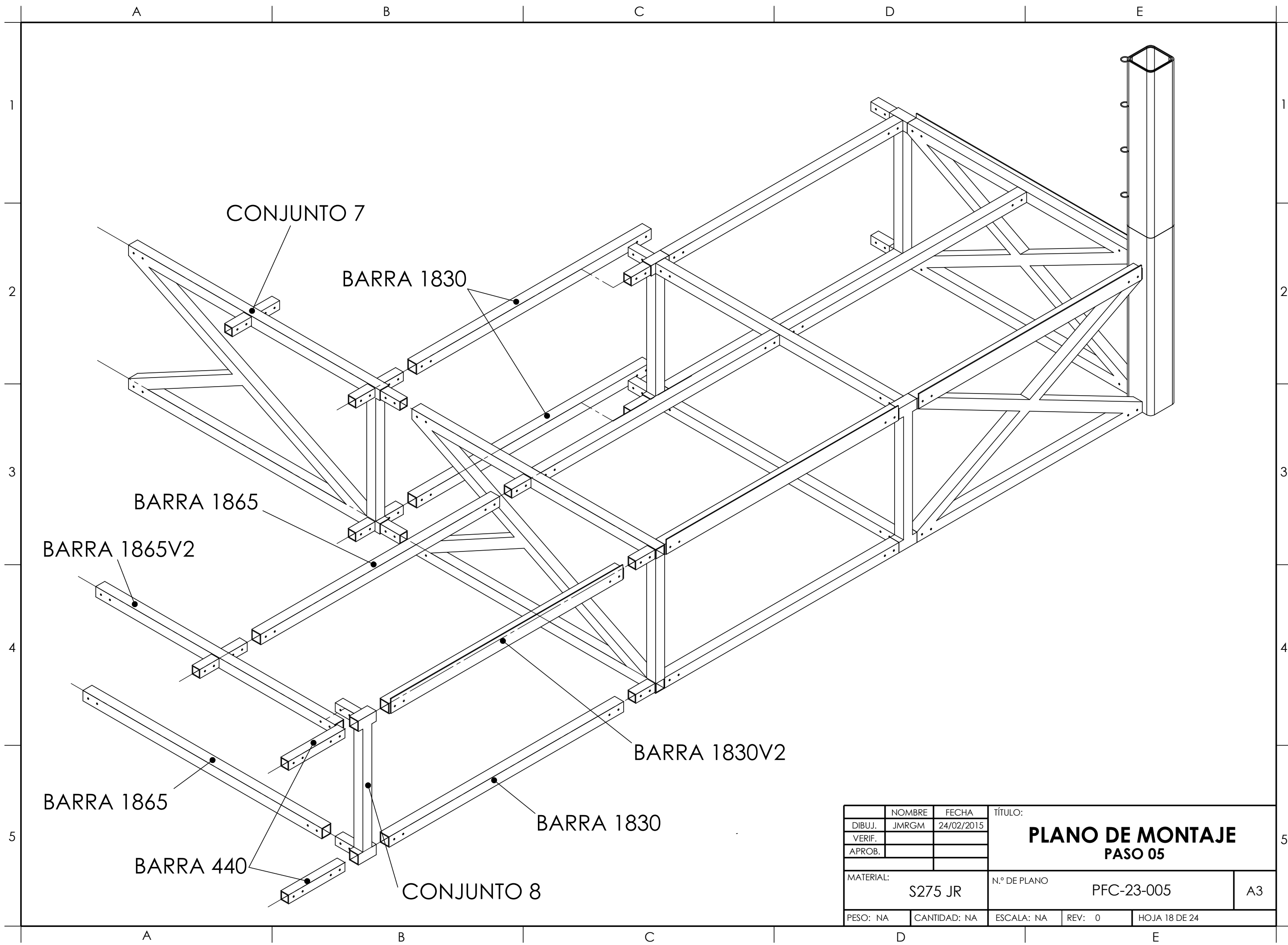




	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015	<b>PLANO DE MONTAJE</b> <b>PASO 03</b>		
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO	A3	
S275 JR			PFC-23-003		
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: NA	REV: 0	HOJA 16 DE 24	



	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:  <b>PLANO DE MONTAJE</b> <b>PASO 04</b>		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015			
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:  S275 JR			N.º DE PLANO  PFC-23-004		A3
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: NA	REV: 0	HOJA 17 DE 24	



	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015	<b>PLANO DE MONTAJE</b> <b>PASO 05</b>		
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO	A3	
S275 JR			PFC-23-005		
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: NA	REV: 0	HOJA 18 DE 24	

A

B

C

D

E

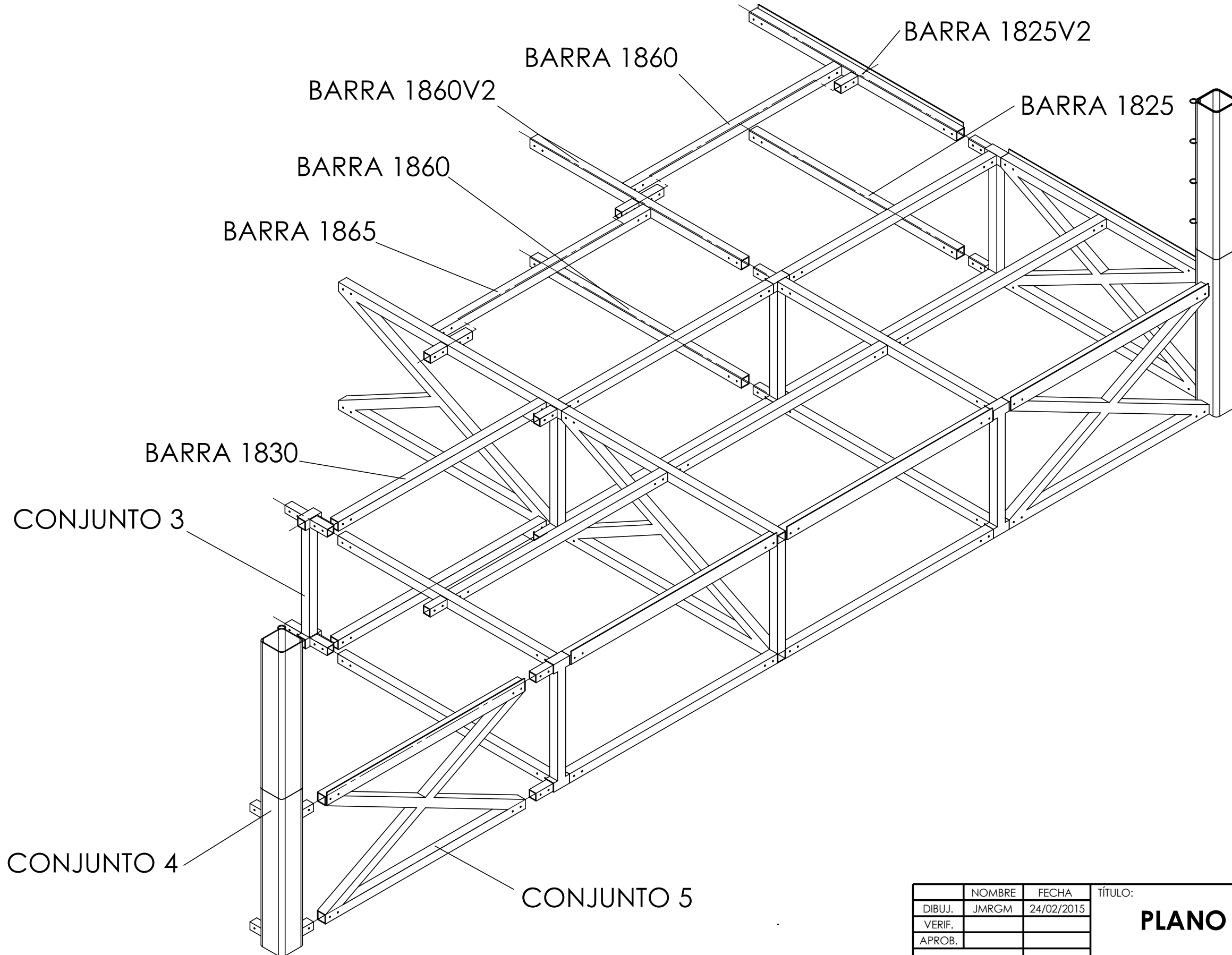
1

2

3

4

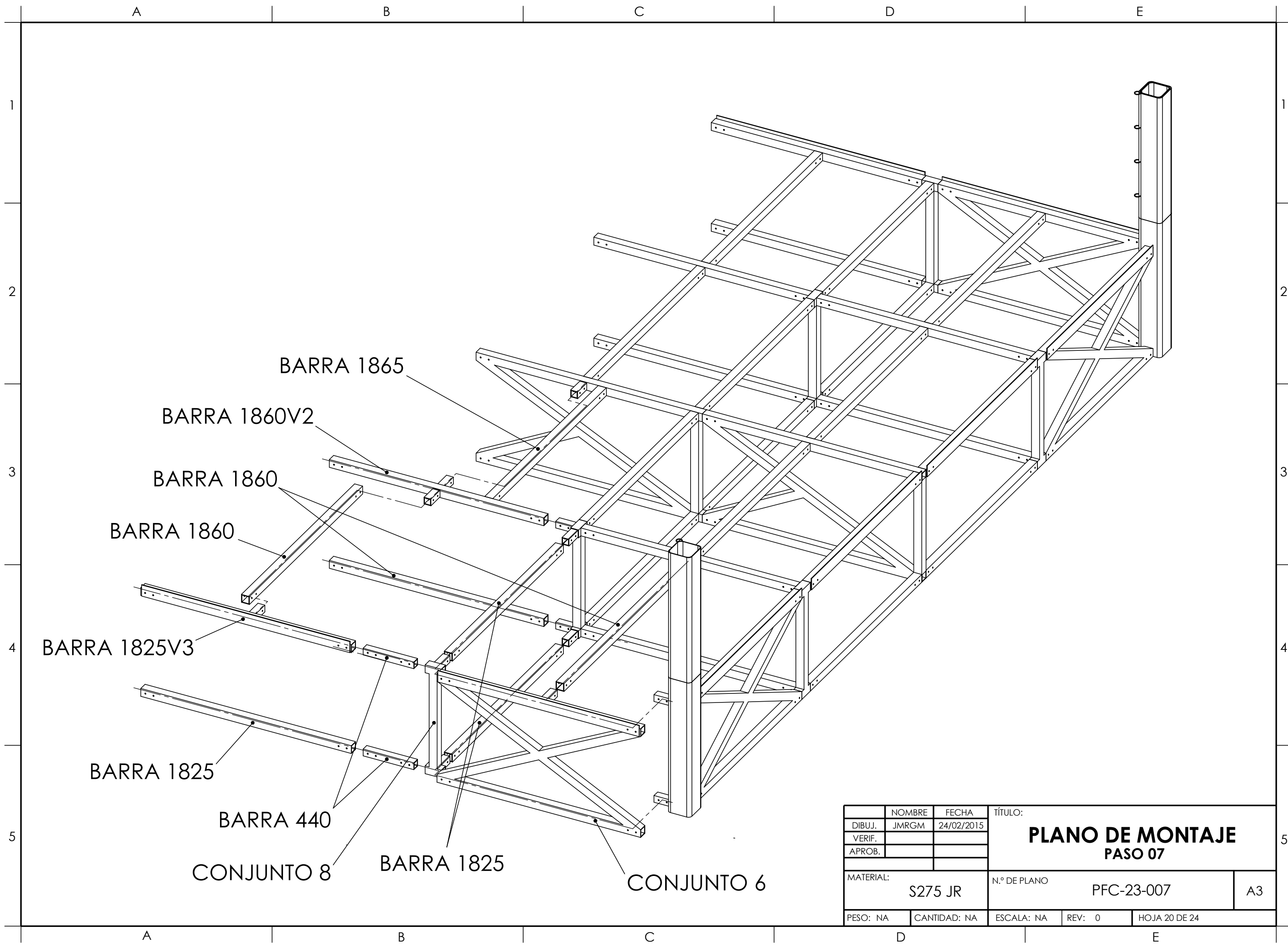
5



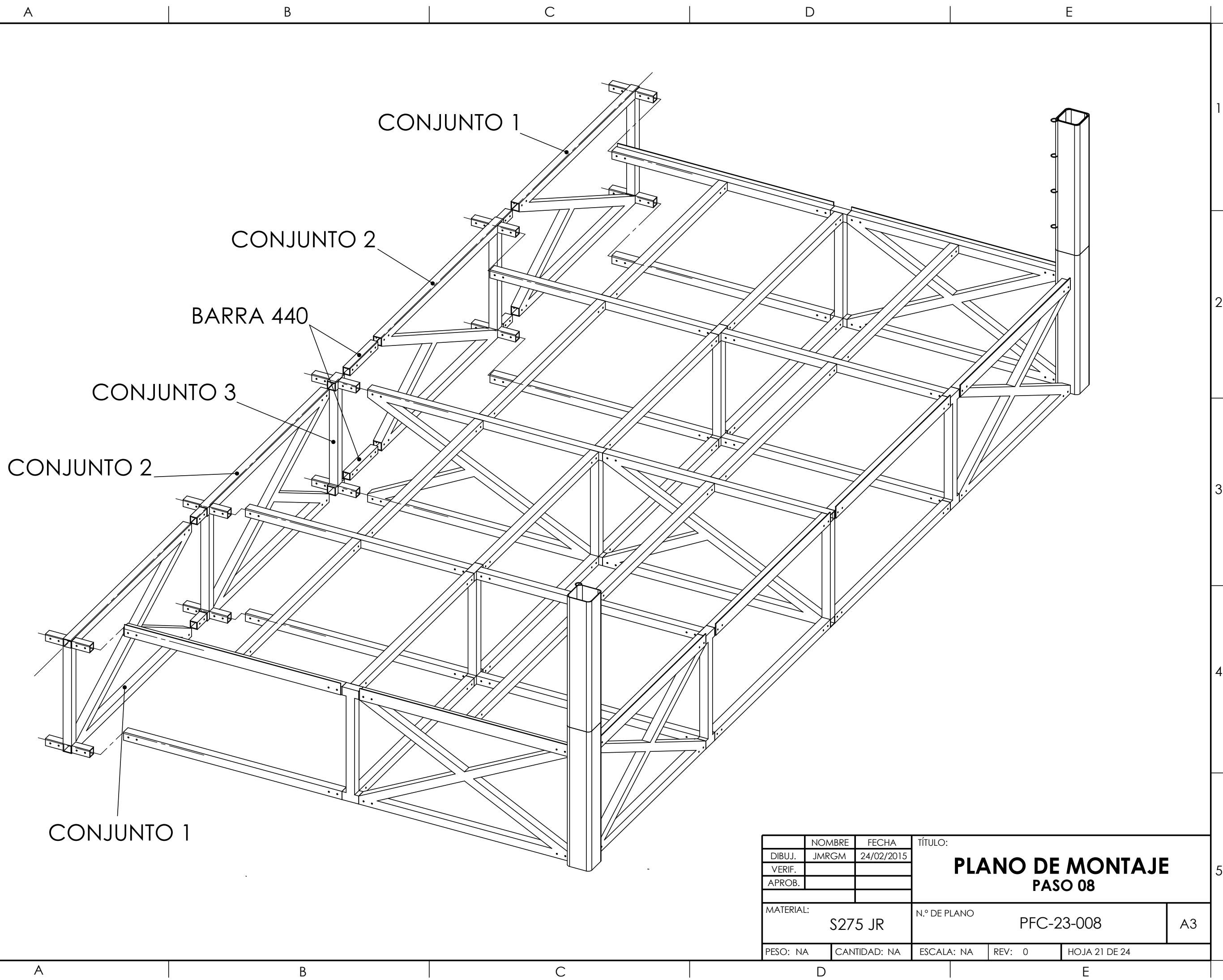
CONJUNTO 4

CONJUNTO 5

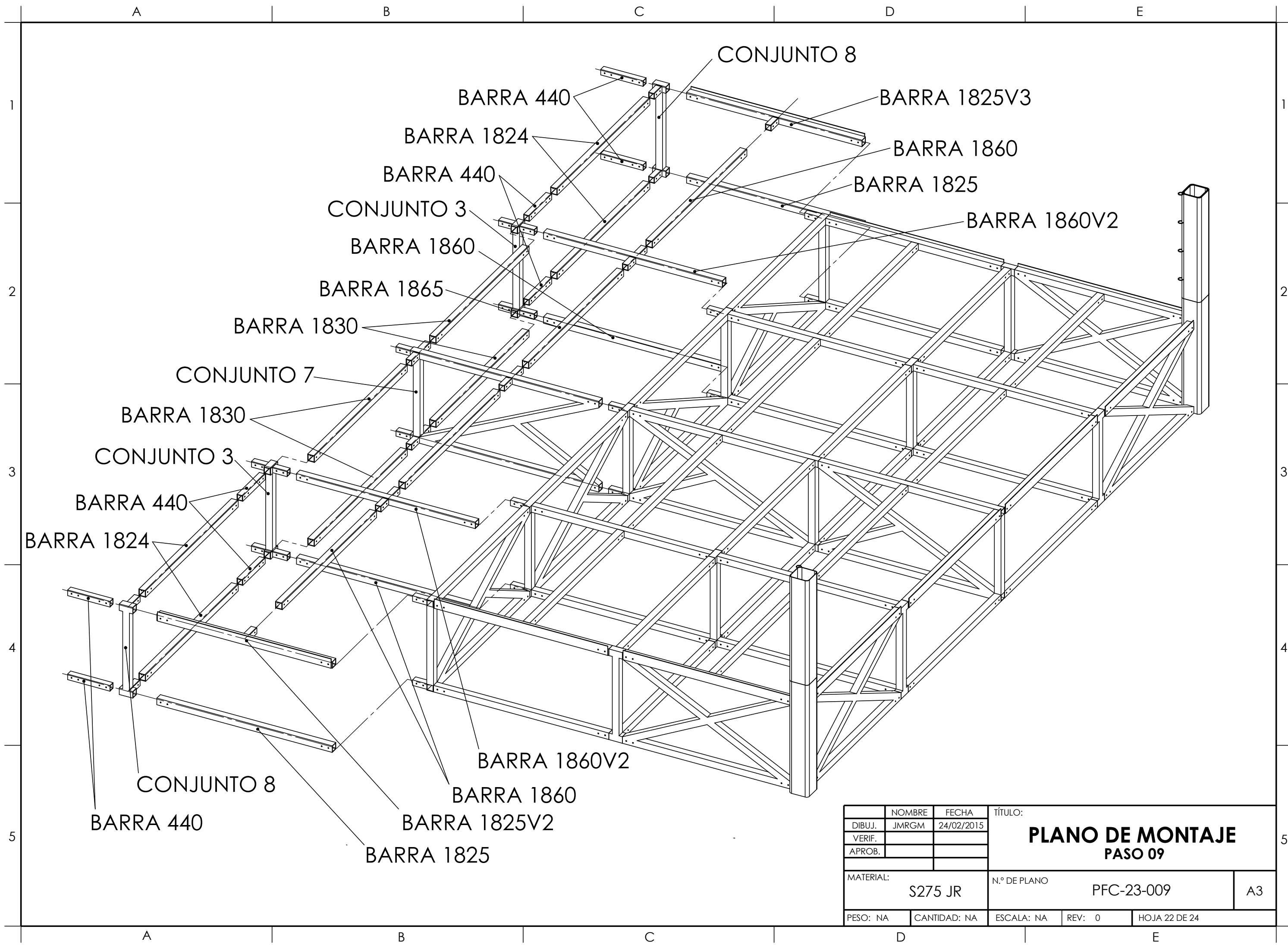
	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:  <b>PLANO DE MONTAJE</b> <b>PASO 06</b>		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015			
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:  S275 JR			N.º DE PLANO  PFC-23-006		A3
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: NA	REV: 0	HOJA 19 DE 24	



	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:  <b>PLANO DE MONTAJE</b> <b>PASO 07</b>		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015			
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:  S275 JR			N.º DE PLANO  PFC-23-007		A3
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: NA	REV: 0	HOJA 20 DE 24	

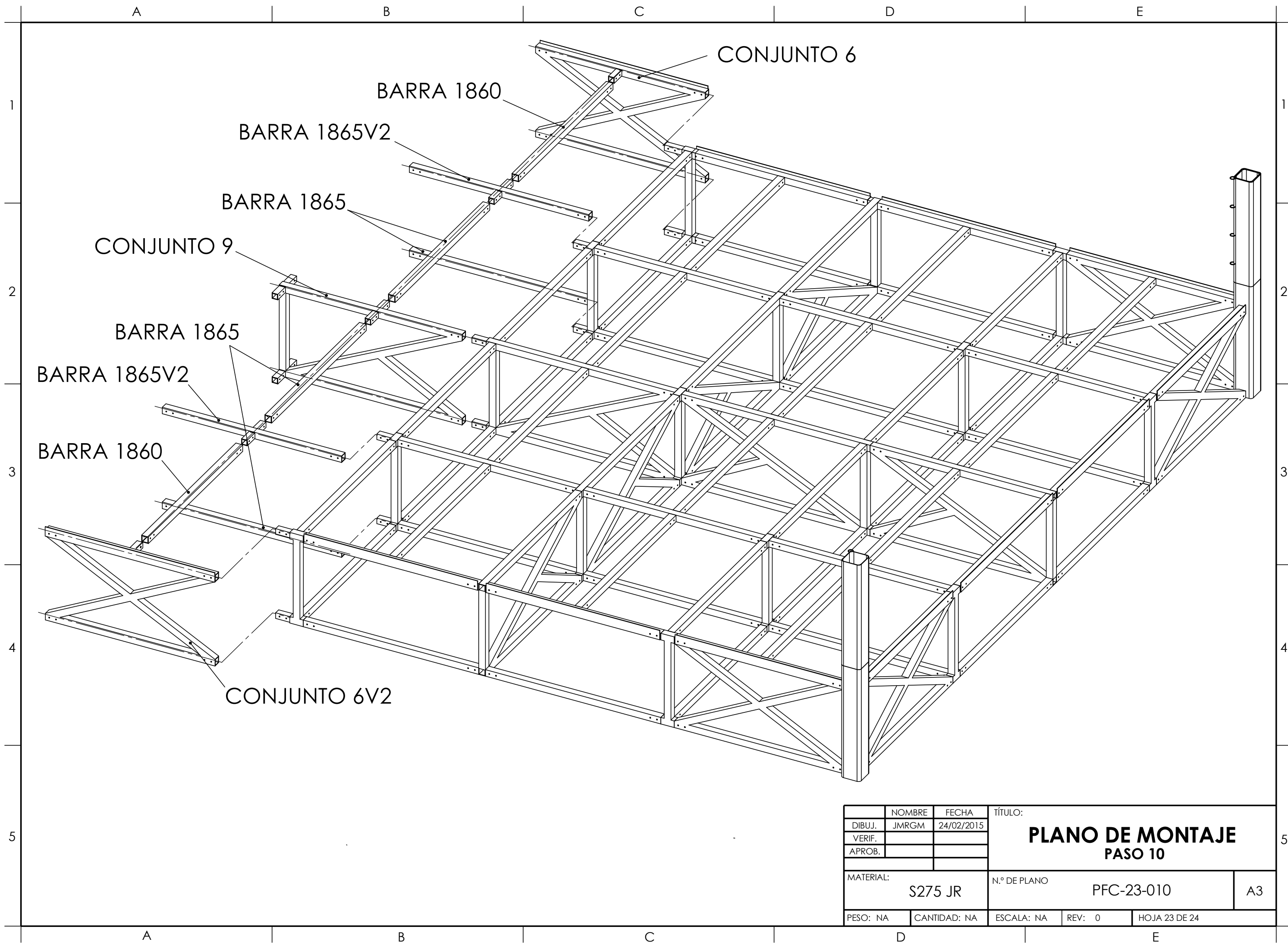


	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:  <b>PLANO DE MONTAJE</b> <b>PASO 08</b>		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015			
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:  S275 JR			N.º DE PLANO  PFC-23-008		A3
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: NA	REV: 0	HOJA 21 DE 24	

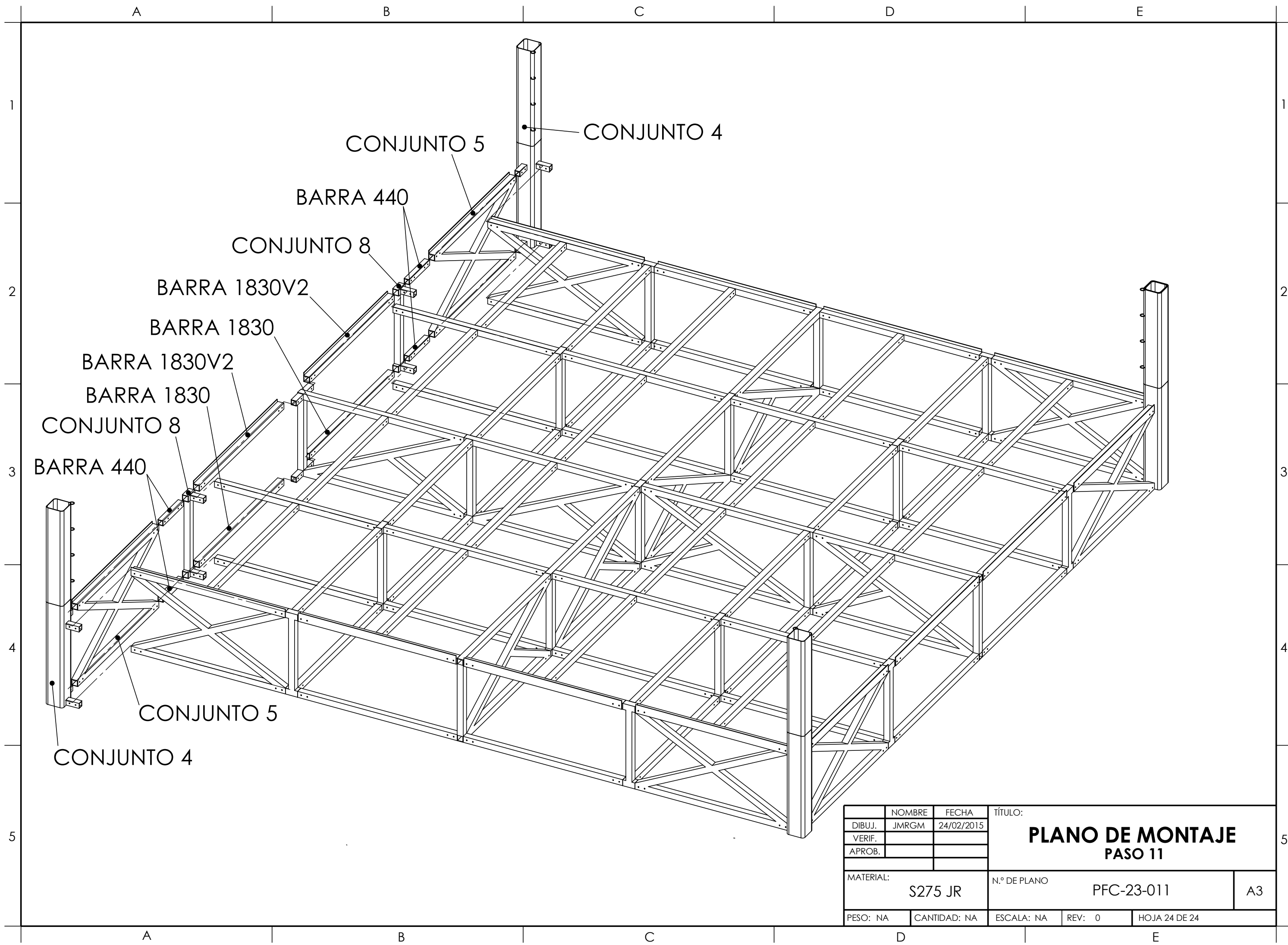


	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015	<b>PLANO DE MONTAJE</b> <b>PASO 09</b>		
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO	A3	
S275 JR			PFC-23-009		
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: NA	REV: 0	HOJA 22 DE 24	





	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:  <b>PLANO DE MONTAJE</b> <b>PASO 10</b>		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015			
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:  S275 JR			N.º DE PLANO  PFC-23-010		A3
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: NA	REV: 0	HOJA 23 DE 24	



CONJUNTO 5

CONJUNTO 4

BARRA 440

CONJUNTO 8

BARRA 1830V2

BARRA 1830

BARRA 1830V2

BARRA 1830

CONJUNTO 8

BARRA 440

CONJUNTO 5

CONJUNTO 4

	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ.	JMRGM	24/02/2015	<b>PLANO DE MONTAJE</b> <b>PASO 11</b>		
VERIF.					
APROB.					
MATERIAL:			N.º DE PLANO	A3	
S275 JR			PFC-23-011		
PESO: NA	CANTIDAD: NA	ESCALA: NA	REV: 0	HOJA 24 DE 24	